

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Инженерная школа ядерных технологий

Специальность: 18.05.02 Химическая технология материалов современной энергетики

Отделение: «Ядерно-топливного цикла»

**ДИПЛОМНЫЙ ПРОЕКТ**

Тема работы
<b>Проект участка производства электролитического медного порошка производительностью 100 тонн медного порошка в год</b>

УДК 669.3-026.771

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0441	Крамаренко А.С		

Руководитель

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

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Учёная степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Маланина В.А.	К. Э. Н		

По разделу «Социальная ответственность»

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

По разделу «Автоматизация процесса»

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

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

Нормоконтролёр	ФИО	Учёная степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЯТЦ ИЯТШ	Страшко А.Н.	К. Т. Н		
Руководитель	ФИО	Учёная степень, звание	Подпись	Дата
Заведующий кафедрой– руководитель отделения на правах кафедры	Горюнов А.Г.	Д. Т. Н		

Томск – 2020 г.

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

Инженерная школа ядерных технологий

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

Уровень образования: специалист

Отделение: «Ядерно-топливного цикла»

Период выполнения \_\_\_\_\_ осенний семестр 2019/2020 учебного года

Форма представления работы:

дипломный проект
------------------

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

Срок сдачи студентом выполненной работы:	27 декабря 2019 г.
--	--------------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
1.11.19	1. Введение	3
5.11.19	2. Обзор литературы	4
30.12.19	3. Расчеты и аналитика	15
6.12.19	4. Результаты расчетов	5
13.12.19	5. План размещения оборудования	10
24.12.19	6. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	10
18.12.19	7. Социальная ответственность	5
17.12.19	8. Автоматизация процесса	5
25.12.19	9. Заключение (выводы)	3

Составил преподаватель:

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

**СОГЛАСОВАНО:**

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

Ознакомлен студент Крамаренко А.С. группы 0441 дата 17.10.19.  
ФИО

**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 достижений 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»**

Инженерная школа ядерных технологий

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

Отделение: «Ядерно-топливного цикла»

УТВЕРЖДАЮ:  
 Руководитель ОЯТЦ  
 \_\_\_\_\_ А.Г. Горюнов  
 (Подпись)(Дата)

**ЗАДАНИЕ**

**на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

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

Студенту:

Группа	ФИО
0441	Крамаренко А.С.

Тема работы:

<b>Проект участка производства электролитического медного порошка производительностью 100 тонн медного порошка в год</b>	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	10.10.2019 №9506/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:	27 декабря 2019 г
--	-------------------

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<p><b>Исходные данные к работе</b>  <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>Участок цеха по получению медного порошка;</li> <li>Производительность по медному порошку 100 тонн в год;</li> <li>Плотность тока 3000 А/м<sup>2</sup>;</li> <li>Основной аппарат– электролитическая ячейка;</li> <li>Выход меди по току равен 90 %.</li> </ol>
<p><b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b></p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>Введение</li> <li>Обзор литературы</li> <li>Расчеты и аналитика</li> <li>Результаты расчетов</li> <li>План размещения оборудования</li> <li>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</li> </ol>

	7 Социальная ответственность 8 Автоматизация процесса 9 Заключение 10 Список использованных источников
<b>Перечень графического материала</b> <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	1. Блок-схема с материальными потоками. 2. Аппаратурно-технологическая схема. 3. План размещения оборудования. 4. Сборочный чертеж основного аппарата А1 (ГОСТ 2.001-93..2.034-83). 5. Техничко-экономические показатели.
<b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b>	
<b>Раздел</b>	<b>Консультант</b>
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Маланина В.А., доцент ОСГН ШБИП
Социальная ответственность	Передерин Ю.В., доцент ОЯТЦ ИЯТШ
Автоматизация процесса	Кузьмина А.В., доцент ОЯТЦ ИЯТШ
Нормоконтролёр	Страшко А.Н., доцент ОЯТЦ ИЯТШ
<b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</b>	

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

**Задание выдал руководитель:**

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

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0441	Крамаренко А.С.		

## Реферат

Выпускная квалификационная работа 117 с., 5 рисунков, 30 таблиц, 82 источника, 4 приложения.

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

Объектом исследования является электролитическое получение медного порошка из отработанного электролита со стадии получения меди методом электроэкстракции.

Цель работы – разработать проект участка электролитического получения медного порошка с производительностью 100 тонн в год.

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

Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики: габаритные размеры основного аппарата составляют –  $H = 2024$  мм,  $L = 538$  мм,  $N = 460$  мм. Выход по току медного порошка составляет 90 %, плотность тока равна  $3000$  А/м<sup>2</sup>. Содержание меди в исходном электролите 8 г/л.

Область применения: гидроэлектрометаллургия.

Экономическая эффективность/значимость работы: капитальные затраты составляют 71097400 руб/ год. Срок окупаемости проектируемого проекта 5,7 лет. Точка безубыточности равна 68938440,6 руб.

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

### **1 Определения**

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.

Отстаивание – разделение жидкой грубодисперсной системы на составляющие ее фазы под действием силы тяжести.

Фильтрация – движение жидкости в пористой среде под действием гравитации или градиента напора.



## **2 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;

КИПиА – контрольно-измерительные приборы и автоматизация;

ЗП – заработная плата.

## **3 Нормативные ссылки**

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 2.316 - 2008 Единая система конструкторской документации. Правила нанесения на чертежах надписей, технических требований и таблиц.

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

ГОСТ 3.1102 - 2011 Единая система технологической документации. Стадии разработки и виды документов.

ГОСТ 3.1105 - 2011 Единая система технологической документации. Формы и правила оформления документов общего назначения.

ГОСТ 7.0.5 - 2008 Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Библиографическая ссылка.

ГОСТ 7.1 - 2003 Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Библиографическая запись. Библиографическое описание.

ГОСТ 7.9 - 95 Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Реферат и аннотация.

ГОСТ 7.32 - 2001 Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Отчет о научно-исследовательской работе. Структура и правила оформления.

ГОСТ 8.417 - 2002 Государственная система обеспечения единства измерений. Единицы величин.

ГОСТ 19.106 - 78 Единая система программной документации. Требования к программным документам, выполненным печатным способом.

ГОСТ 13372 - 78 Сосуды и аппараты. Ряд номинальных объемов.

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.

## Оглавление

Введение.....	15
1 Обзор литературы .....	17
2 Расчеты и аналитика.....	25
2.1 Теория процесса.....	25
2.1.1 Термодинамика электрохимических систем .....	25
2.1.2 Кинетика электрохимических процессов.....	26
2.2 Приборы и методы анализа .....	27
2.3 Разработка и описание аппаратурно-технологической схемы .....	35
2.4 Расчет материального баланса технологической схемы .....	36
2.5 Расчет теплового баланса технологической схемы .....	41
3.6 Расчет основного аппарата .....	44
3.6.1 Расчет геометрии и габаритов аппарата.....	44
3.6.2 Механический расчет основного аппарата .....	53
3.6.3 Гидравлический расчет основного аппарата .....	55
3.6.4 Электротехнический расчет основного аппарата .....	61
4 Результаты расчетов .....	64
5 План размещения оборудования .....	67
5.1 Подбор основного технологического оборудования .....	67
5.2 Расчет геометрии и габаритов оборудования .....	67
5.3 Энергетический расчет технологической схемы .....	69
5.4 План размещения оборудования.....	70
6 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	75
6.1 Расчет производственной мощности .....	75
6.2 Определение баланса времени одного рабочего .....	76
6.3 Расчет численности основных рабочих.....	77

6.4	Расчет численности вспомогательного персонала.....	78
6.5	Расчет численности специалистов, руководителей и служащих.....	79
6.6	Расчет годового фонда заработной платы.....	79
6.6.1	Расчет фонда заработной платы основных рабочих.....	79
6.6.2	Расчет капитальных затрат.....	83
6.6.3	Расходы на содержание и эксплуатацию здания.....	85
6.6.4	Расходы на технологические и социальные нужды.....	86
6.6.5	Расчет точки безубыточности.....	89
7	Социальная ответственность.....	90
7.1	Микроклимат.....	91
7.2	Шум и вибрация.....	92
7.3	Вредные вещества.....	93
7.4	Электробезопасность.....	96
7.5	Вентиляция производственных помещений.....	99
7.6	Освещение.....	100
7.7	Пожарная безопасность.....	101
7.8	Аварийные и чрезвычайные ситуации на предприятии.....	104
8	Автоматизация процесса.....	107
8.1	Описание технологической схемы.....	107
8.2	Описание функциональной схемы автоматизации.....	108
8.3	Перечень технологических параметров, подлежащих индикации, регулированию, сигнализации.....	110
8.4	Перечень первичных преобразователей.....	111
9	Заключение.....	114
	Список использованных источников.....	115
	Приложение А.....	124
	Приложение Б.....	125
	Приложение В.....	126

Графический материал на отдельных листах:

ДП ФЮРА. 471321.002 СБ

ДП ФЮРА. 471321.002 ТС

ДП ФЮРА. 471321.002 АТС

ДП ФЮРА. 471321.002 ПР

ДП ФЮРА. 471321.002 ЭЧ

## Введение

Одной из базовых отраслей российской промышленности является металлургический комплекс, который вносит весомый вклад в экономику России. Доля металлургии в ВВП страны составляет около 5 %, в промышленном производстве – 17,3 %, в экспорте – 14,2 %, в налоговых платежах во все уровни бюджетов – 9 % [1]. В сегодняшних условиях постоянной конкуренции от предприятий металлургического комплекса требуется внедрение передовых технологий производства, современного оборудования и систем управления. Для соответствия выпускаемой продукции всем требованиям мировых стандартов. Наиболее массовыми являются металлами являются тяжелые цветные металлы к которым относятся свинец, цинк, медь, никель, олово [1].

Цветные металлы по физико-химическим свойствам условно классифицируют на 5 групп – основные тяжелые металлы, малые тяжелые металлы, благородные, редкие и легкие металлы [1]. Медь относится к группе основных тяжелых цветных металлов. Медь сравнительно слабо распространена в природе. Примерно 80 % имеющийся меди содержится в земной коре в виде сульфидов, 15 % – в виде оксидных руд и 5 % – в виде самородной меди [2].

Медь находится на третьем месте в мире по количеству потребления среди металлов, после железа и алюминия [3]. Потребление рафинированной меди на 2012 год оценивается в 20,5 миллионов тонн, что превышает потребление меди в 2005 году, которое составляет 16,7 миллионов тонн [3]. В 2019 году спрос на медь составляет 23,55 миллионов тонн. Медь находит широкое применение в электротехнической промышленности, ее доля составляет около 50 % от всей потребляемой меди [2]. Это обусловлено ее низким электрическим сопротивлением и высоким значением теплопроводности. В приложении А представлена информация о количестве

потребляемой меди мировой промышленностью и ее стоимости в период 1986 – 2011 годы.

Таким образом медь еще на долго останется важным металлом для промышленности. Исходя из этого целью данного дипломного проекта является разработка участка получения электролитического медного порошка производительностью 100 тонн в год.

Разрабатываемый участок планируется размещать на территории предприятия занимающегося производством меди, например, предприятия ГМК «Норильский никель». Данная компания получает медь по технологии SX–EX (Экстракция растворителем – электроэкстракция). Электролит на проектируемый участок поступает после стадии электроэкстракции меди на основном производстве. В котором получают медные пластины. Процесс ведут с нерастворимыми анодами. Далее при достижении определенной концентрации меди в электролите его заменяют. Этот электролит и поступает на 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 безопасное для персонала производство за счет герметизации основных аппаратов, а также снижения численности персонала, которое позволит уменьшить вероятность возникновения опасных ситуаций. А также позволяет проводить процесс при более высоких плотностях тока. Данная технология на сегодняшний день является наиболее современной, но учитывая спрос на медь, который в 2020 году составляет 24,19 миллионов тонн, разработки в этой области продолжаются и сегодня.



## 1 Обзор литературы

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.

Медь относится к группе металлов со средним значением перенапряжения металла и тока обмена [2]. Таким образом в отсутствии добавок на катоде должен образовываться крупнокристаллический осадок. В таблице 1 приведены стандартные электродные потенциалы некоторых металлов.

Таблица 1 – Стандартные электродные потенциалы [4]

Металл	$E^0, В$	$M^{z+}/M$
Au	+1,692	$Au^+/Au$
Ag	+0,799	$Ag^+/Ag$
Hg	+0,797	$Hg^{2+}/Hg$
Cu	+0,342	$Cu^{2+}/Cu$
Bi	+0,308	$Bi^{3+}/Bi$
H <sub>2</sub>	0	pH=0
Pb	-0,126	$Pb^{2+}/Pb$
Sn	-0,137	$Sn^{2+}/Sn$
Ni	-0,257	$Ni^{2+}/Ni$

Одним из видов востребованной в промышленности продукции является медный порошок. К таким порошкам выдвигаются особые требования, которые прописаны в ГОСТе 4960-2017. В таблице 2 указаны

требования по чистоте для разных марок порошков, полученных электролитическим методом.

Таблица 2 – Химический состав порошка [5]

Марка порошка	Массовая доля, %							Прокаленно го остатка после обработки азотной кислотой	Влаги, не более
	Cu	Fe	Pb	As	Sb	O <sub>2</sub>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>		
ПМС-В	99,5	0,018	0,05	0,003	0,005	0,10	0,01	0,04	0,05
ПМС-1	99,5	0,078	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

Исходя из данной таблицы видно, что содержание меди в порошках всех марок не должно быть ниже 99,5 %.

Требования к гранулометрическому составу медных порошков представлены в приложении Б, это требование имеет большое значение для порошков, применяемых в порошковой металлургии.

На ряду с гранулометрическим составом, одним из основных параметров является насыпная масса, которая указывает на прочность порошка. Если порошок достаточно прочен, чтобы сохранить рыхлую укладку и частицы под воздействием массы не обламываются, то насыпная масса меньше [6].

Свойство медного порошка, особенно структура, зависят от способов его получения. В связи с этим при выборе метода получения необходимо всегда учитывать назначение получаемого порошка.

Методы получения медного порошка можно разделить на механические, физико-химические. Механические способы отличаются тем, что под действие механической нагрузки из компактного или расплавленного металла получают высокодисперсный материал – порошок [6]. Физико-химические методы основаны на выделении порошка меди из его соединений или при переходе из одной фазы в другую. Иногда, применяют другие методы, например, медный порошок можно получить электролизом, затем его спекают и измельчают до необходимой дисперсности [6].

Необходимыми условиями получения медного порошка в электролитической ванне является малая концентрация меди в прикатодном слое электролита и большая катодная плотность тока.

Использование электрохимических процессов для извлечения металлов из растворов постоянно увеличивается из-за относительно стабильных ценовых показателей на электроэнергию, а также увеличение применение гидрометаллургии по экологическим причинам [7].

Основным аппаратом для промышленного получения меди электролитическим методом является электролизная ванна. Существует большое количество патентов как отечественных, так и зарубежных в которых описаны устройства для проведения электролиза.

В источнике [8] представлен электролизер для получения медного порошка электролизом из сульфатного раствора. Электролизер представляет собой аппарат ящичного типа с сужающимся к низу дном [8,9], в котором используются биполярные электроды. При этом подачу и циркуляцию электролита проводят сверху вниз параллельно плоскости электродов. Таким образом полная замена электролита происходит за 2 – 3 часа. В ходе процесса медь осаждается в виде дисперсной губки на катодной стороне биполярных электродов и затем ссыпается на дно ванны и впоследствии удаляется вместе с электролитом. Аноды в данном аппарате выполняются из свинца. По оценке конструкторов данное устройство позволяет снизить расход электроэнергии и

позволяет увеличить выход по току и повысить удельную производительность. Схема электролизера для получения электролитической меди представлен на рисунке 1.

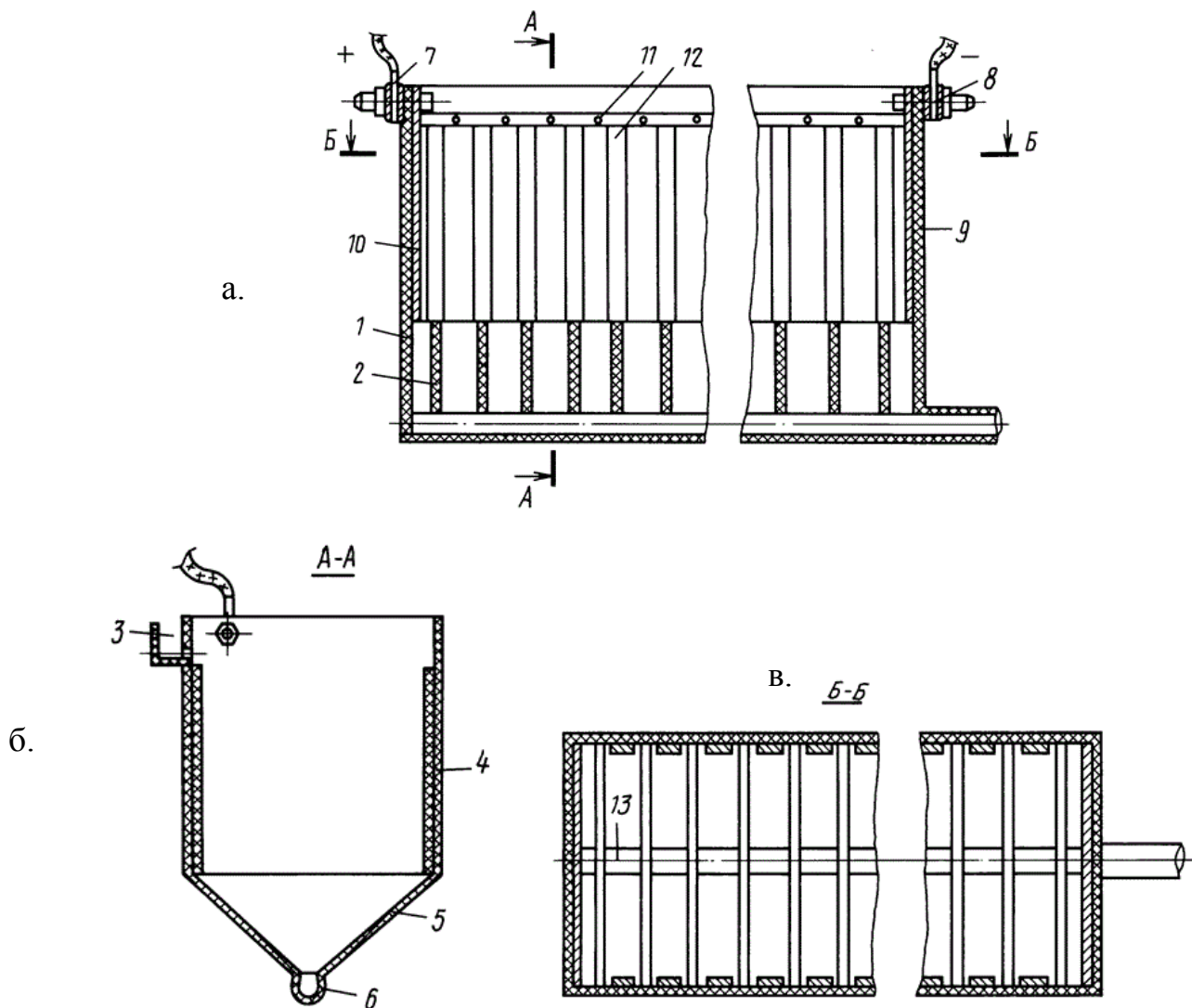


Рисунок 1 – Схема электролизера для получения электролитической меди [8]  
 1. Торцовую стенку, 2. Перегородка нижней части ванны, 3. Распределительный канал для вывода электролита, 4. Боковая стенка части ванны с направляющими пазами, 5. Боковую стенка нижней части ванны, 6. Продольный канал для вывода электролита и порошка, 7. Положительную клемму, 8. Отрицательная клемма, 9. Медный катод, 10. Анод, 11. Отверстия для равномерного распределения электролита по длине ванны, 12. Направляющие пазы, 13. Соединительные отверстия [8].

Также есть информация об электролизерах предназначенных для получения медных лент либо тонкой фольги [10,11]. Данный способ включает приготовление раствора электролита и извлечение из электролита меди с последующим непрерывным осаждением под действием электрического тока на титановую поверхность барабана-катода, который погружен в электролит. Катод дополнительно обрабатывают распыленной струей слабокислого раствора с ионами меди и насыщенного кислородом. Предположительно данный метод позволит повысить качество металлической ленты, увеличить стойкость ленты к воздействию окружающей среды и снизить долю брака [10].

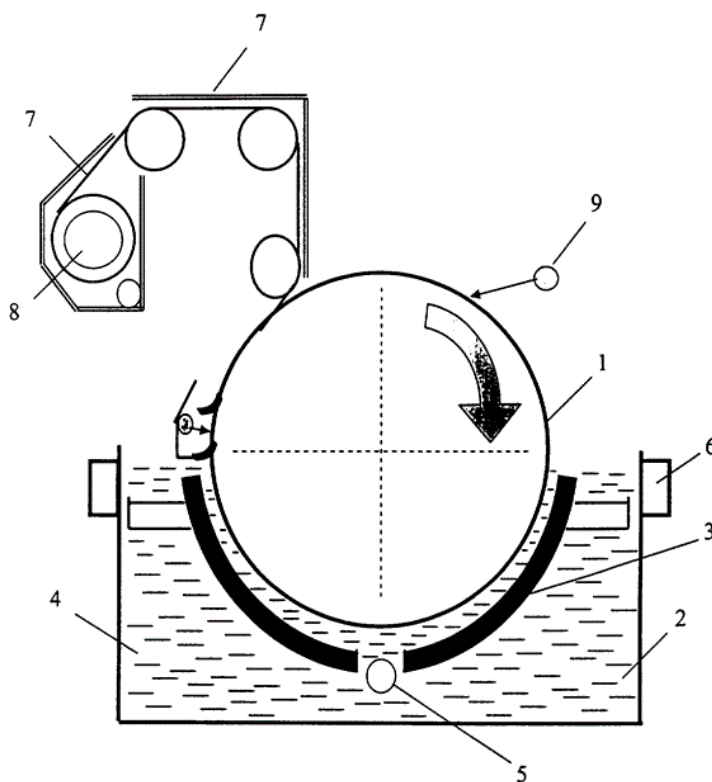


Рисунок 2 – Схема электролизера для получения медной ленты [10].

1. Титановый катод, 2. Ванна, 3. Аноды, 4. Электролит, 5. Труба, 6. Сливной карман, 7. Медная лента, 8. Узел смотки, 9. Форсунки, 10. Кислый раствор.

Как показано на рисунке 2, предлагаемый способ производства медной фольги включает вращающуюся титановую поверхность 1, установленную в ванне 2. В ванне 2 установлены неподвижные аноды 3 и циркулирует жидкий

электролит 4, в котором имеются ионы металла. Жидкий электролит 4 подается через трубу 5 и отводится через сливной карман 6. Из электролита 4 под воздействием электрического тока выделяется металл и осаждается на поверхность 1 в виде тонкой бесконечной ленты 7, которая затем отрывается и сматывается в рулон в узле смотки 8. После отделения ленты 7 от поверхности 1 эту поверхность дополнительно обрабатывают кислым раствором путем постоянной подачи его через форсунки 9 в виде узкой полосы 10 непосредственно со стороны входа в ванну 2.

Также в настоящее время проводятся работы по разработке электродов для проведения электролиза. В следствии чего в работе [12] представлены результаты исследования трехмерного импульсного электрода. По данным исследования был получен электрод для процесса электролиза меди с меньшими энергозатратами. При этом максимальная плотность тока достигала  $3000 \text{ А/м}^2$ , которая примерно в 10 раз выше чем на пластинчатых электродах. Для достижения наибольшей эффективности время работы электрода должно быть наибольшим, однако для недопущения засорения электрода металлом время работы ограничивается длительностью в 60 секунд. Длительность работы электрода в режиме кипящего слоя должно быть наименьшим для предотвращения растворения осадка, что снижает выход по току. Максимальное значение выхода по току было достигнуто 77 % при энергозатратах в 2,5 кВт/кг [12]. По результатам источника [13] был разработан электрод, который может использоваться для производства меди в аппаратах различной конфигурации. Изобретение включает в себя крепление анода к проводящей шине и тело электрода. Тело электрода состоит как минимум из одного проводящего стержня имеющего проводящую сердцевину, окруженную внешним слоем, а также подложку, соединенную со стержнем. На рисунке 3 представлено устройство такого электрода. Кроме того, существуют изобретения [14] связанные с системами и методами получения металлического порошка пропуская электролит через электролизную ячейку. Изобретение [14] позволяет получать порошки

высокой чистоты, в том числе и меди из медьсодержащих растворов используя, как классический электролиз, так и электролиз растворов выщелачивания.

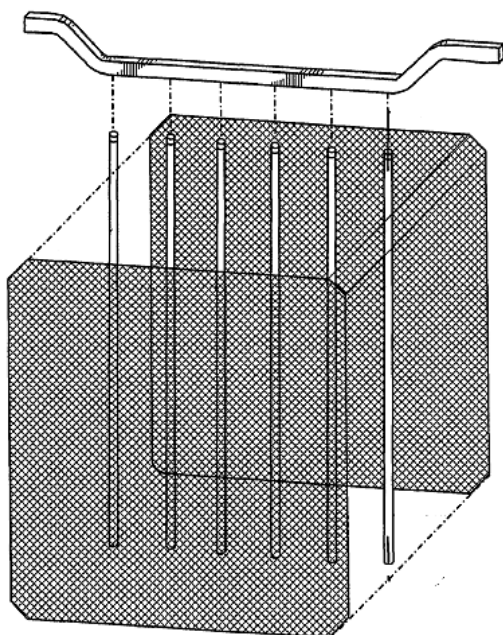


Рисунок 3 – Устройство электрода для получения меди [14]

По информации из источника [15] был разработан метод электролитического получения металлов в котором анод представлен в виде перфорированной ячейки, состоящей из проводящего электрический ток композитного материала, состоящего из частиц металла и неметаллического элемента [15]. К такому же типу разработок можно отнести источник [16] в котором описана ячейка для извлечения металлов электролитическим способом из сульфатных растворов, которая включает в себя нерастворимые аноды и катоды. Аноды помещаются в анолит и отделены пористой мембраной [16]. В литературе [17,18] также встречаются методы, связанные с извлечением меди из разбавленных растворов содержащих целевой металл использованием вращающегося электрода, а также применением альтернативных реакций, протекающих на аноде.

Наиболее современной разработкой в области получения металлов электролитическим методом описывается в работах [19–22] описана технология проведения электролиза с использованием инновационной

конструкции электролитической ячейки для извлечения меди и других металлов из разбавленных растворов. Катод представляет собой цилиндр из нержавеющей стали в центре которого находится анод в виде стержня. Диаметр труб электродов подбирается для каждого раствора таким образом, чтобы минимизировать прилагаемое напряжение. Оба конца ячейки выполнены из пластиковых крышек с входом и выходом электролита, а также газоотводом. Электролит протекает через серию ячеек до 30 штук и выше с высоким значением расхода. При этом токоподвод находится вне электролитической ячейки.

Проанализировав литературные источники и в частности источник [3] можно сделать вывод, что потребность в меди постоянно растет. Это связано с активным развитием электронной и других видов мировой промышленности. В связи с этим разрабатывалось большое количество технологий и аппаратов для извлечения меди в виде пластин и фольги, которые могут быть модифицированы и приспособлены к получению медного порошка, как представлено в источниках [8,9]. В литературном обзоре также рассмотрены различные варианты по модернизации аппаратов, рассчитанных на получение медной ленты [10] для получения медного порошка. В итоге после изучения патентов и научно – исследовательских работ наиболее многообещающим выглядит аппарат и технология, представленные в источниках [19–22]. На основании этой технологии будет разработан аппарат для непрерывного получения медного порошка электролитическим методом. Это позволит получать медный порошок из разбавленных растворов и растворов, получаемых после электроэкстракции и электрорафинирования меди. Данный аппарат и методика позволит получать не только медь из ее растворов, но и другие металлы, получаемые электролизом.



## 2 Расчеты и аналитика

### 2.1 Теория процесса

#### 2.1.1 Термодинамика электрохимических систем

Электрохимическая энергия в электрохимических системах связана с химическими превращениями и, следовательно, с энергией реакции [23].

Если электрохимический элемент работает термодинамически обратимо при постоянных температуре и давлении, то согласно второму началу термодинамики уменьшение энергии Гиббса равно максимальной полезной работе, которая равна электрической энергии, получаемой от элемента [24]:

$$-\Delta G = zFE, \quad (1)$$

где  $\Delta G$  – изменение энергии Гиббса;

$z$  – валентность;

$F$  – число Фарадея;

$E$  – ЭДС.

При самопроизвольном необратимом процессе приращение энергии Гиббса при протекании химической реакции имеет отрицательное значение. Согласно уравнению 1 это означает, что максимальная полезная электрическая работа должна быть при этом положительна [24]. Энергия Гиббса  $\Delta G$  реакции связана с энтальпией  $\Delta H$  и энтропией  $\Delta S$  реакции соотношением, в основе которого лежит уравнение [24]:

$$\Delta G = \Delta H - T\Delta S, \quad (2)$$

где  $\Delta H$  – энтальпия реакции;

$\Delta S$  – энтропия реакции;

$T$  – температура при которой протекает реакция.

Если через систему протекает измеримый ток  $I$ , то она перестает быть термодинамически обратимой и начнет функционировать как электролитическая ванна. Если электрохимическая система работает под напряжением, то в полезную энергию химического превращения переходит не вся электрическая энергия, сообщаемая системе, а некоторая ее часть рассеивается в виде теплоты.

### 2.1.2 Кинетика электрохимических процессов

Электрохимическое выделение металлов из водных растворов всегда происходит при более электроотрицательном потенциале, чем равновесный потенциал соответствующего металла в данных условиях [23]. Электрохимическая реакция проводится в электролитической ячейке, состоящей из раствора электролита, в который погружены два электрода. Электрод, который подключен к положительному полюсу источника тока называется анодом, а электрод подключенный к отрицательному полюсу называется катодом. Электролитическая ячейка – это устройство, позволяющее провести окислительно – восстановительную реакцию с увеличением энергии Гиббса за счет электрической работы, полученной от внешнего источника тока [24]. В электрохимических реакциях скорость процесса определяется силой тока, протекающей через электрод. Исходя из закона Фарадея количество выделенного на электроде вещества пропорционально количеству прошедшего через электрод электричества [24]:

$$Q = zFm, \quad (3)$$

где  $z$  – количество электронов;

$F$  – постоянная Фарадея;

$m$  – масса выделившегося металла.

Если разделить обе части уравнения 3 и продифференцировать по времени, то получим уравнение 4 [24].

$$i = zFw, \quad (4)$$

где  $w$  – скорость реакции.

Из уравнения 4 видно, что скорость электрохимической реакции пропорциональна плотности тока. Таким образом, плотность тока в электродных реакциях служит мерой скорости протекающих на них процессов. Основной отличительной чертой электрохимической кинетики от кинетики других гетерогенных процессов является зависимость скорости реакции от потенциала электрода [24].

Электрохимический процесс состоит из нескольких стадий. Кроме собственно электрохимической реакции, в электрохимическом процессе нужно учитывать стадию доставки вещества к поверхности электрода и отвода продукта реакции от поверхности электрода.

## 2.2 Приборы и методы анализа

Медный порошок можно рассматривать с двух противоположных сторон, например, как сырье для порошковой металлургии он должен удовлетворять определенным требованиям. Порошок должен отвечать заданному химическому составу и иметь соответствующую насыпную массу. Как изделие он должен иметь зерно определенной формы, необходимое электрическое сопротивление и удельную поверхность, обладать стабильностью свойств. Медные порошки бывают двух типов: стабилизированные и нестабилизированные [5]. Стабилизированные порошки проходят специальную обработку, после чего они становятся стойкими к окислению. Нестабилизированный порошок весьма неустойчив и его нельзя долго хранить даже в герметизированной таре. В зависимости от способа получения порошка его частицы имеют шарообразную, аморфную, пластинчатую и дендритную форму [6].

### **2.2.1 Дендритность частиц**

Дендритная форма частиц, типичная для порошка, получаемого электролитическим способом, отличается высокоразвитой поверхностью. Обладая дендритной структурой, частицы имеют множество выступов – активных центров, позволяющих улучшить электрический контакт с частицами других материалов, используемых при изготовлении изделий прессованием. Дендритность порошка позволяет сохранить однородность смеси порошков, предохраняя его от сегрегации. 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 удается увидеть каждую частицу в отдельности и определить ее конфигурацию [6].

### **2.2.2 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. В отличие от высокодисперсного низкодисперсный порошок в основном состоит из более

крупных частиц. 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.

Для определения гранулометрического состава медного порошка используют сетки изготовленные из бронзовой проволоки, для сеток номеров 0071–2,5 [6].

Согласно ГОСТ 4960-2017 [5] 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 [6].

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.

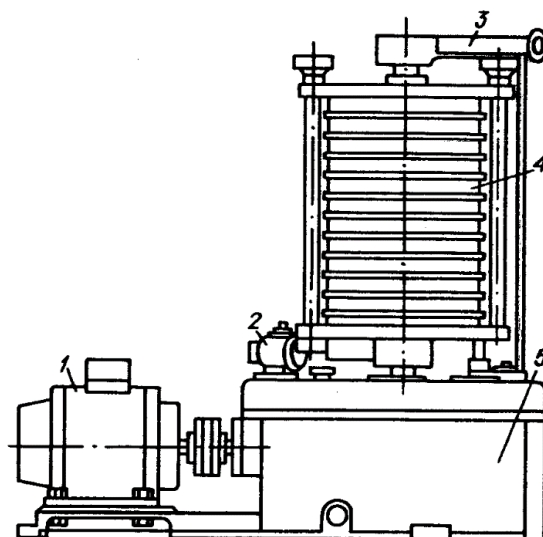


Рисунок 4 – Ситовый анализатор марки 028М

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 [6].

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.

### 2.2.3 Насыпная масса

Кроме гранулометрического состава одной из важнейших характеристик порошка, определяющих его марку является его насыпная масса.

Насыпная масса – это масса единицы объема свободно насыпанного порошка. Этот параметр играет большую роль в расчетах шихты для прессования порошка. С ней связано понятие пористости, которая рассчитывается по формуле 2.

$$\Pi = \left(1 - \frac{\gamma_{\text{нас}}}{\gamma}\right) \cdot 100\%, \quad (5)$$

где  $\gamma_{\text{нас}}$  – Насыпная масса;

$\gamma$  – Плотность материала.

Чем больше размеры частиц порошка и меньше их дендритность, тем больше насыпная масса. Стоит заметить, что у полидисперсного и дисперсного порошков не наблюдается закономерной зависимости насыпной массы от гранулометрического состава. [5]

### 2.2.4 Химический состав порошка

Химический состав порошка должен соответствовать всем нормам, предусмотренным в ГОСТ 4960-2017 [5]. Допустимые концентрации примесей представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Химический состав порошка

Марка порошка	Массовая доля, %								
	Cu	Fe	Pb	As	Sb	O <sub>2</sub>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Прокаленно о 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	0,078	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. Анод и катод делают из платины. Наличие ионов меди в растворе проверяют с помощью кровавой соли. Когда в растворе ионов меди больше нет, катод извлекают, промывают, сушат и взвешивают. По разности масс катода до и после электролиза судят о количестве меди [5].

### 2.2.5 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.

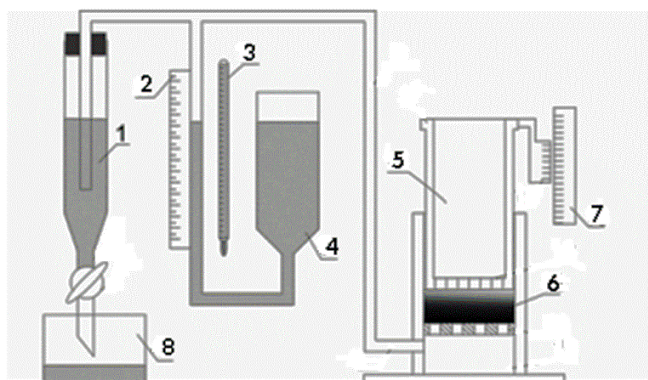


Рисунок 5 – Устройство прибора Товарова

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 при помощи 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 см<sup>2</sup>/г [25].

Удельная поверхность исследуемого порошка определяется по формуле

$$S = \frac{14 \cdot \sqrt{\delta^3}}{\rho_s \cdot (1 - \delta)} \cdot \sqrt{\frac{F}{H} \cdot \frac{\tau \cdot \Delta P}{\mu \cdot V}}, \quad (6)$$

где  $S$  – Удельная поверхность, см<sup>2</sup>/г;

$\rho_s$  – Плотность порошка, г/см<sup>3</sup>;

$\Delta P$  – Разность давлений воздуха под слоем и атмосферным давлением, см. вод.ст.;

$\mu$  – Динамическая вязкость воздуха, г/(см·с);

$V$  – Объем воздуха прошедшего за время  $\tau$ , см<sup>3</sup>;

$F$  – Площадь поперечного сечения кюветы, см<sup>2</sup>;

H – Высота кюветы с порошком, см.

### **2.2.6 Стабильность порошка**

Стабильностью порошка можно считать 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. В результате того, что 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 того чтобы замедлить или остановить процессы окисления медного порошка, применяют целый ряд средств. В ГОСТе [5] и технических условиях обозначены условия хранения и транспортировки медного порошка и срок его годности. 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 [5]. 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 [5].

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 наоборот 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 и порошок постоянно обогащается кислородом, 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 [5] указаны допустимые интервалы, характеризующие те или иные свойства.

### **2.3 Разработка и описание аппаратурно-технологической схемы**

Аппаратурно-технологическая схема участка цеха по получению медного порошка представлена в приложении В. Основными аппаратами являются электролитические ячейки, собранные в электролитические батареи (ЭлБ) по 7 штук в каждой. Электролит в которые поступает тангенциально в нижнюю часть аппарата, что позволяет организовать закручивающийся восходящий поток. Процесс является полунепрерывным.

Электролит поступает с участка производства медных пластин и плит электроэкстракцией после достижения определенной концентрации отправляется на корректировку. На этом этапе часть электролита электролита отводится на наш участок и попадает в теплообменник для восполнения температурных потерь во время транспортировки электролита. Далее электролит поступает в электролитические ячейки. Электролит через ячейки

проходит в двух режимах, при 4 и 10 м<sup>3</sup>/ч. При расход 4 м<sup>3</sup>/ч протекает процесс осаждения осадка на катоде, а 10 м<sup>3</sup>/ч расход необходимый для снятия осадка. Для этого на участке цеха находятся два насоса (Н–1) и (Н–2) для создания таких расходов. Для подвода электроэнергии к электролитическим ячейкам используется источник тока (ИТ). Далее электролит с порошком поступает в сборочную емкость (Е–1) разделенная на два отсека в которой проходит отстаивание осадка, а также удаления газов и испарений являющихся побочными продуктами процесса. Также из этой емкости электролит после отстаивания отправляется на корректировку. Осадок меди отправляется на фильтрацию в фильтр-пресс (ФП). Далее осадок в фильтр-прессе (ФП) промывается водой и далее после фильтрации вода содержащая остаточное количество меди отправляется на приготовление электролита.

После прохождения через фильтр-пресс (ФП) осадок отправляется на сушку, а отфильтрованный электролит самотеком попадает в сборочную емкость (Е–2) в которой при достижении определенного уровня электролита, она опорожняется с помощью насоса (Н–3), а электролит отправляется на корректировку.

## **2.4 Расчет материального баланса технологической схемы**

Согласно заданию необходимо разработать участок производства с производительностью 100 тонн порошка меди в год. Для этого необходимо определить время работы основного аппарата. Примем, что аппарат и рабочий персонал работает по 40 часов в неделю. Следовательно, 8 часов в день, пять дней в неделю. Согласно производственному календарю на 2020 год [24] который представлен в приложении А в 2020 году 1979 рабочих часов. Также необходимо учитывать время простоя оборудования во время технического обслуживания. Примем время простоя для разрабатываемого аппарата таким

же, как для электролизера производства хлора БГК–15/25. Периодичность и виды работ указаны в таблице 4 [27].

Таблица 4 – Нормативы периодичности, продолжительности и трудоемкости технического обслуживания и ремонта оборудования

Оборудование	Периодичность ТО и Р (числитель) и продолжительность простоя (Знаменатель), ч			Трудоемкость одного ТО и Р, чел.ч		
	ТО	Т	К	ТО	Т	К
Электролизер БГК– 17/25	–	4320/48	25920/96	–	48	144

Исходя из данных таблицы 4 делаем вывод, что за 2020 год время работы оборудования составляет полные 1979 часов. Процесс является полу непрерывным и процесс осаждения длится 15 минут, а процесс снятия осадка 5 минут. Тогда время проведения процесса равна осаждения 1484,25 часов

Таким образом необходимо определить количество меди, получаемое за 1 час работы аппарата по формуле 7.

$$G_{\text{час}} = \frac{G_{\text{год}}}{\tau_{\text{раб}}}, \quad (7)$$

где  $G_{\text{год}}$  – производительность в год, г/год;

$\tau_{\text{раб}}$  – время работы аппарата, ч.

$$G_{\text{час}} = \frac{100000000}{1484,25} = 67374 \text{ г/ч}.$$

Количество порошка, получаемое с одной ячейки определим, зная количество ячеек, которое берем из раздела 3.6.1.

$$G_{\text{час}} = \frac{67374}{21} = 3208,29 \text{ г/ч}$$

Из раздела «Расчет основного аппарата» видно, что для получения данного количества порошка используется 21 ячейка. Рассчитаем материальный баланс и количество электролита необходимое для получения количества порошка, найденного по формуле 5. Электролит представляет

собой раствор, содержащий сульфат меди, воду и серную кислоту. Определим реакции, протекающие на электродах:

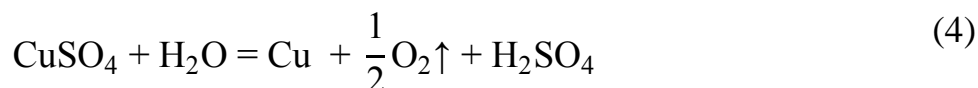
Реакция на катоде:



Реакция на аноде:



Результирующая реакция:



Также побочной реакцией является выделение водорода.

Масса выделившегося на катоде металлического порошка можно вычислить по формуле 6 [6].

$$Q_{\text{час}} = I \cdot \tau \cdot V_{\text{T}} \cdot q, \quad (8)$$

где  $I$  – сила тока, А;

$\tau$  – время работы, час;

$V_{\text{T}}$  – выход по току, в долях от единицы;

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

Электрохимический эквивалент для меди приведен в приложении Г.

Для количественной оценки эффективности процесса электролиза используется такой параметр, как выход по току.

$$V_{\text{T}} = \frac{m_{\text{пр}}}{m_{\text{теор}}} \cdot 100\%, \quad (9)$$

где  $V_{\text{T}}$  – Выход по току, %;

$m_{\text{пр}}$  – Масса вещества практически выделившегося при прохождении определенного количества электричества;

$m_{\text{теор}}$  – Масса вещества теоретически рассчитанное по закону Фарадея.

Принимая что выход по току меди равен 90 %, а плотность тока по заданию 3000 А/м<sup>2</sup>.

Определим массу необходимого сульфата меди для получения медного порошка по формуле 10.

$$m(\text{CuSO}_4) = \frac{m(\text{Cu}) \cdot M_{\text{CuSO}_4}}{M(\text{Cu})}, \quad (10)$$

где  $m(\text{Cu})$  – масса меди, г;

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

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

$$m(\text{CuSO}_4) = \frac{3208,29 \cdot 160}{64} = 8020,71 \text{ г.}$$

Далее определим массу водорода, выделяющегося на катоде по формуле 6. Силу тока, прошедшую через электрохимические ячейки берем из раздела 3.6.1.

$$Q_{\text{часH}_2} = 3000 \cdot 1 \cdot 0,1 \cdot 0,038 = 11,4 \text{ г.}$$

Вычислим количество образующейся серной кислоты по формуле 11.

$$m(\text{H}_2\text{SO}_4) = \frac{m(\text{CuSO}_4) \cdot M_{\text{H}_2\text{SO}_4}}{M(\text{Cu})}, \quad (11)$$

$$m(\text{H}_2\text{SO}_4) = \frac{8020,71 \cdot 98}{160} = 4912,68 \text{ г.}$$

Тогда, масса кислорода найдем по формуле [6].

$$Q_{\text{час O}_2} = 3000 \cdot 0,298 \cdot 1 \cdot 1 = 894 \text{ г.}$$

Масса воды, которая расходуется на аноде.

$$m(\text{H}_2\text{O}) = \frac{894 \cdot 18}{0,5 \cdot 32} = 1005,75 \text{ г.}$$

Концентрацию раствора электролита по меди примем равную 8 г/л. Тогда необходимый объем раствора электролита можно рассчитать по формуле 12.

$$C = \frac{m}{V}, \quad (12)$$

где  $V$  – объем,  $\text{см}^3$ ;

$C$  – концентрация, г/л;

$m$  – масса, г.

$$V = \frac{3208,29}{8} = 401 \text{ л.}$$

Содержание серной кислоты в электролите примем равным 220 г/л. Плотность концентрированной серной кислоты составляет 1,84 г/см<sup>3</sup>. Определим объем серной кислоты для приготовления 1 л электролита по уравнению 13.

$$V = \frac{m}{\rho} \quad (13)$$

где  $V$  – объем,  $\text{см}^3$ ;

$m$  – масса, г;

$\rho$  – плотность, г/см<sup>3</sup>.

$$V(\text{H}_2\text{SO}_4) = \frac{220}{1,84} = 119,5652 \text{ см}^3.$$

Объем воды необходимый для приготовления 1 л электролита найдем по уравнению 14.

$$V_{\text{H}_2\text{O}} = 1000 - V_{\text{H}_2\text{SO}_4} \quad (14)$$

$$V_{\text{H}_2\text{O}} = 1000 - 119,5652 = 880,4347 \text{ см}^3.$$

Рассчитаем плотность полученного электролита по формуле 15.

$$\rho_{\text{электролита}} = \frac{1}{\sum \frac{\chi}{\rho}}, \quad (15)$$

где  $\rho$  – плотность компонента электролита, г/см<sup>3</sup>;

$\chi$  – массовая доля компонента.

Плотность медного купороса равна 3,6 г/см<sup>3</sup>, плотность воды примем равной 1 г/см<sup>3</sup>.



$$\rho_{\text{электролита}} = \frac{1}{\frac{0,0217}{3,6} + \frac{0,217}{1,84} + \frac{0,763}{1}} = 1,13 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$$

Принимая во внимание то, что необходимое количество сульфата меди составляет 8020,71 г и это составляет 90 %, то необходимая масса сульфата меди будет 8911,92 г, что соответствует 100 %. Процесс осаждения медного порошка происходит при расходе 4 м<sup>3</sup>/ч для каждой ячейки. Таким образом для проведения процесса каждый час необходимо 84 м<sup>3</sup>/ч электролита или 94920 кг.

Таблица 5 – Материальный баланс электролитической ячейки

Приход	м, кг	%	Выход	м, кг	%
Электролит для получения медного порошка					
CuSO <sub>4</sub>	187,150	0,197	CuSO <sub>4</sub>	18,841	0,020
H <sub>2</sub> O	6568,380	6,919	Cu	67,374	0,071
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	1852,620	1,952	H <sub>2</sub> O	6547,259	6,898
			H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	1955,786	2,06
			H <sub>2</sub>	0,239	0,0003
			O <sub>2</sub>	18,774	0,020
Электролит для организации непрерывного потока					
CuSO <sub>4</sub>	1876,510	1,976	CuSO <sub>4</sub>	1876,510	1,976
H <sub>2</sub> O	65859,727	69,384	H <sub>2</sub> O	65859,727	69,384
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	18575,820	19,569	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	18575,820	19,569
Итого	94920,207	100	Итого	94920,207	100

## 2.5 Расчет теплового баланса технологической схемы

Тепловой баланс рассчитывается по уравнению 16.

$$\sum Q_{\text{прих}} = \sum Q_{\text{вых}}, \quad (16)$$

Из справочника найдем значения теплоемкостей компонентов электролита до и после проведения электролиза.  $C_p(\text{CuSO}_4)=0,4$  Дж/(г·град),

$C_p(\text{H}_2\text{SO}_4)=1,4$  Дж/(г·град),  $C_p(\text{Cu})=0,38$  Дж/(г·град),  $C_p(\text{H}_2\text{O})=4,18$  Дж/(г·град),  
 $C_p(\text{H}_2)=14,41$  Дж/(г·град),  $C_p(\text{O}_2)=0,92$  Дж/(г·град) [27].

Определим Джоулево тепло выделяющееся в ходе процесса электролиза по формуле 17.

$$Q_{\text{Дж}} = U_{\text{гр}} \cdot I \cdot \tau, \quad (17)$$

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

$$U_{\text{гр}} = U_{\text{ван}} - U_{\text{разл}} \cdot \text{Вт}_{\text{Cu}}, \quad (18)$$

$$U_{\text{гр}} = 4,03 - 0,88 \cdot 0,9 = 3,15 \text{ В},$$

$$Q_{\text{Дж}} = 3,15 \cdot 3000 \cdot 3600 = 33588000 \text{ Дж}.$$

Определим тепло вносимое с электролитом по формуле 19.

$$Q_{\text{Электролита}} = C_p \cdot m_{\text{электролита}} \cdot T_{\text{вход}}, \quad (19)$$

где  $T_{\text{вход}}$  – температура электролита на входе в аппарат.

$$C_{p_{\text{Электролита}}} = 0,40 \cdot 0,0217 + 1,4 \cdot 0,22 + 4,18 \cdot 0,763 = 3,51 \frac{\text{Дж}}{\text{г} \cdot \text{град}}.$$

$$Q_{\text{Электролита}} = 3,51 \cdot 409911,92 \cdot 313 = 450341533 \text{ Дж}.$$

Определим тепло уносимое с газами, выделяющимися на электродах по формуле 20.

$$Q_{\text{газ}} = C_p \cdot (T_{\text{газ}} - T_{\text{окр}}) \cdot m_{\text{газ}}, \quad (20)$$

где  $T_{\text{окр}}$  – температура окружающей среды, К.

Найдем теплоту, уносимую с выделяющимся водородом.

$$Q_{\text{газ}} = 14,41 \cdot (333 - 298) \cdot 11,4 = 5750 \text{ Дж}.$$

Найдем теплоту, уносимую с выделяющимся кислородом.

$$Q_{\text{газ}} = 0,92 \cdot (333 - 298) \cdot 894 = 28787 \text{ Дж}.$$

Определим тепло уносимое вместе с образовавшимся порошком меди.

$$Q_{\text{Cu}} = 0,38 \cdot 3208,3 \cdot 333 = 405978,3 \text{ Дж}.$$

Определим тепло уносимое отработанным электролитом.

$$Q_{\text{отр.элект}} = 3,50 \cdot 409911,92 \cdot 333 = 477752343 \text{ Дж}.$$

Потери тепла в окружающую среду примем равную 15 % от джоулевого тепла выделяющегося за счет протекания электрического тока через электролитическую ячейку.

$$Q_{Т.п} = 0,15 \cdot 33588000 = 5736676 \text{ Дж.}$$

Расчет теплового баланса приведен для одной электролитической ячейки.

Таблица 6 – Тепловой баланс технологической схемы

<b>Приход</b>	<b>Теплота, Дж</b>	<b>%</b>	<b>Выход</b>	<b>Теплота, Дж</b>	<b>%</b>
Тепло за счет протекания тока	33588000	7	Тепло уносимое водородом	5750	0,0012
Тепло вносимое с электролитом	450341533	93	Тепло уносимое кислородом	28787	0,006
			Тепло уносимое порошком меди	405978,3	0,07
			Тепло уносимое отработанным электролитом	477752343	98,7
			Тепловые потери в окружающую среду	5736676	1,2
<b>Итого</b>	<b>483929533</b>	<b>100</b>	<b>Итого</b>	<b>483929533</b>	<b>100</b>

### 3.6 Расчет основного аппарата

#### 3.6.1 Расчет геометрии и габаритов аппарата

При расчете производительности электролизной ванны одним из основных параметров является сила тока. На одной и той же ванне можно увеличить или уменьшить суточную производительность изменяя силу тока, подаваемую на электроды. Но нельзя беспредельно увеличивать силу тока на ванне, не считаясь с числом и размерами электродов. Плотность тока связывает силу тока с рабочей поверхностью электродов:

$$i = \frac{I}{S}, \quad (21)$$

где  $i$  – плотность тока, А/м<sup>2</sup>;

$I$  – сила тока, А;

$S$  – площадь рабочей поверхности электродов, м<sup>2</sup>.

Согласно условию заданная плотность тока равна 3000 А/м<sup>2</sup>, тогда площадь электродов можно рассчитать преобразовав уравнение 21.

По уравнению 18 определяем силу тока, необходимую для получения необходимого количества медного порошка.

$$I = \frac{67374}{1,0,9 \cdot 1,1864} = 63098,44 \approx 63099 \text{ А.}$$

Отсюда можно определить рабочую площадь катодов.

$$S = \frac{63099}{3000} = 21,033 \approx 21 \text{ м}^2.$$

Примем что катод представляет из себя цилиндр, который одновременно является и корпусом электролитической ячейки, внутренний диаметр которого равен 254 мм, а его площадь равна 1 м<sup>2</sup>. Таким образом, предполагается, что количество аппаратов будет равно 21.

Высоту катода определим по уравнению 22.

$$H_{\text{катода}} = \frac{S}{\pi D}, \quad (22)$$

где  $S$  – площадь,  $\text{м}^2$ ;

$H$  – высота электрода, м;

$D$  – диаметр электрода, м.

$$H_{\text{катода}} = \frac{1}{3,14 \cdot 0,254} = 1,26 \text{ м} \approx 1260 \text{ мм}.$$

Расстояние между электродами примем равное 22 мм по данным гидравлического расчета тогда радиус анода составит 210 мм. Найдем рабочую площадь анода по формуле 22.

$$S_{\text{Анода}} = 0,210 \cdot 3,14 \cdot 1,26 = 0,831 \text{ м}^2.$$

$$i_{\text{анода}} = \frac{3000}{0,831} = 3610 \frac{\text{А}}{\text{м}^2}.$$

Далее определим размеры обечайки, крышки и днища, а также толщины их стенок.

Для начала рассчитаем толщину стенок обечайки по формуле 23 [29].

$$S = S' + C, \quad (23)$$

где  $S$  – толщина стенки, м;

$S'$  – номинальная толщина стенки, м;

$C$  – суммарная прибавка, м.

Суммарная прибавка состоит из следующих величин которые указаны в формуле 24 [29]:

$$C = C_k + C_э + C_d + C_0, \quad (24)$$

где  $C_k$  – прибавка на коррозию или другой вид химического воздействия рабочей среды на материал, мм;

$C_э$  – прибавка на эрозию или другой вид механического воздействия рабочей среды, мм;

$C_d$  – дополнительная прибавка по технологическим, монтажным и другим соображениям, мм;

$C_0$  – прибавка на округление размера, мм.

Значение номинальной толщины стенки примем согласно таблице 7 [29]

Таблица 7 – Рекомендуемые минимальные толщины стенок цилиндрических вальцованных обечаек, мм

$D_b$	<400	≥400 до 1000	>1000 до 2000	>2000 до 4000
$S, \text{ мм}$	2	3	4	5

Примечание. Указанные толщины стенок обечайки при возможности коррозии их материала соответственно увеличивается на коррозионную прибавку  $S_k$

Для расчета толщины стенки необходимо определить давление внутри аппарата по уравнению 25 [29].

$$p = p_c + g \rho_{\text{ж}} H_{\text{ж}} 10^{-6}, \quad (25)$$

где  $p_c$  – рабочее избыточное давление среды,  $\text{Мн/м}^2$ ;

$g$  – ускорение силы тяжести,  $\text{м/с}^2$ ;

$\rho_{\text{ж}}$  – плотность жидкости,  $\text{кг/м}^3$ ;

$H_{\text{ж}}$  – высота столба жидкости, м.

Согласно источнику [29] для коррозионностойких материалов прибавка на коррозию равна 1 мм.

Окончательное допускаемые напряжения, которые должны приниматься при расчете на прочность узлов и деталей, в общем виде следует определить по формуле 26 [29].

$$\sigma_d = \eta \sigma_d^*, \quad (26)$$

где  $\eta$  – поправочный коэффициент, учитывающий условия эксплуатации аппарата;

$\sigma_d^*$  – номинальное допускаемое напряжение,  $\text{Мн/м}^2$ .

Исходя из параметров проведения процесса электролиза, кислотности и температуры. Материал катода выполняется из коррозионностойкой стали марки 08X12H10T. Номинальное допустимое напряжение для данного материала равно  $128 \text{ Мн/м}^2$  при температуре  $60 \text{ }^\circ\text{C}$  [29]. Тогда, по уравнению 23 можно рассчитать допустимое напряжение при этом коэффициент  $\eta$  примем равным 1 согласно [29].

$$\sigma_d = 1 \cdot 128 = 128 \frac{\text{Мн}}{\text{м}^2}.$$

Аппарат работает при атмосферном давлении тогда давление внутри корпуса с учетом уровня жидкости рассчитаем по уравнению 25.

$$p = 0,1 + 9,8 \cdot 1,26 \cdot 1,2 \cdot 10^3 \cdot 10^{-6} = 0,115 \frac{\text{Мн}}{\text{м}^2}.$$

Далее необходимо определить соотношение следующих параметров  $\sigma_d$ ,  $p$  и коэффициент прочности сварного шва  $\varphi_{ш}$  [29]. Для автоматической сварки под слоем флюса для коррозионностойкой стали при диаметре менее 500 мм и одностороннем одностычковом шве  $\varphi_{ш}$  равна 0,8 [29].

$$\frac{\sigma_d}{p} \varphi_{ш} = \frac{128}{0,115} \cdot 0,8 = 890,4 > 25.$$

Согласно этому условию если получаемое значение больше 25, то для расчета номинальной толщины стенки необходимо использовать уравнение [29].

$$S' = \frac{D_{вп} p}{2 \sigma_d \varphi_{ш}}, \quad (27)$$

$$S' = \frac{0,254 \cdot 0,115}{2 \cdot 128 \cdot 0,8} = 0,00014 \text{ м.}$$

Согласно таблице 7 выше минимальную толщину стенки желательно выбрать равную 2 мм, а прибавку на коррозию равную 1 мм. Расчет ведем по уравнению 23.

$$S = 2 + 1 = 3 \text{ мм.}$$

Размеры обечайки согласно расчету следующие: внутренний диаметр 254 мм, толщина стенки равна 3 мм, высота равна 1260 мм.

В качестве крышки аппарата примем стандартное отбортованное днище, выполненное из винипласта с углом при вершине  $90^\circ$  которое приведено в [29]. Крышка имеет следующие параметры: внутренний диаметр 254 мм, высота 140 мм, толщина стенки 6 мм, высота отбортовки 25 мм, объем 3 л, а масса 1 кг.

Далее рассчитаем днище аппарата. Примем, это плоское днище с одним отверстием для крепления анода равное 30 мм.

Определим толщину вертикальной части днища по формуле 24. Примем, что днище выполнено из винипласта допустимое напряжение которого равно  $2,3 \text{ Мн/м}^2$ , а  $\varphi_{\text{ш}}$  равен 0,35.

$$S' = \frac{0,254 \cdot 0,115}{2 \cdot 2,3 \cdot 0,35} = 0,018 \text{ м.}$$

Для начала определим коэффициент ослабления  $K_0$  по формуле 28.

$$K_0 = 1 - 0,43 \frac{d}{D_B}, \quad (28)$$

$$K_0 = 1 - 0,43 \frac{5}{25,4} = 0,915.$$

Из условия  $R_B = 2,5S$ , где  $S$  это толщина вертикальной стенки находим радиус кривизны между стенкой и днищем [29].

$$R_B = 2,5 \cdot 18 = 45 \text{ мм.}$$

Толщину стенки горизонтальной части днища рассчитывается по уравнению 29 [29].

$$S' = \frac{KD}{K_0} \sqrt{\frac{p}{\sigma_{\text{ид}}}}, \quad (29)$$

где  $K$  – коэффициент конструкции днища и равен 0,44 для данного типа днищ;

$K_0$  – коэффициент ослабления отверстиями;



$D$  – диаметр днища, равный разности внутреннего диаметра и кривизны днища;

$p$  – давление,  $\text{Мн/м}^2$ ;

$\sigma_{\text{ид}}$  – допустимое напряжение,  $\text{Мн/м}^2$ .

$$S' = \frac{0,44 \cdot (0,254 - 0,045)}{0,915} \sqrt{\frac{0,115}{2,3}} = 0,0225 \text{ м} \approx 22,5 \text{ мм.}$$

Толщину горизонтальной части днища рассчитаем по уравнению 23.

$$S = 22,5 + 27,5 = 50 \text{ мм.}$$

Параметры днища, следующие: внутренний диаметр 254 мм, высоту примем равной 254 мм, радиус кривизны равен 45 мм, диаметр отверстия равен 30 мм.

Далее рассчитаем фланцы для соединения частей аппарата. Для днища аппарата выбраны фланцы цельного круглого сечения с конической горловиной.

Расчетный наружный диаметр фланца определяем по формуле 30 [29].

$$D'_\phi = D_\phi + a, \quad (30)$$

где  $D_\phi$  – диаметр болтовой окружности, м;

$a$  – величина, зависящая от диаметра болтов и от размера «Под ключ» в гайках.

$$D_\phi = \varphi D_B^{0,933}, \quad (31)$$

где  $D_B$  – внутренний диаметр фланца, равный внутреннему диаметру обечайки, м;

$\varphi$  – коэффициент зависящий от внутреннего давления равный 1,11 в данном случае.

$$D_\phi = 1,11 \cdot 0,254^{0,933} = 0,309 \approx 0,310 \text{ м.}$$

Расчетный диаметр болтов определяем по формуле 32 [29].

$$d'_\phi = \frac{D_\phi - D}{2} - 0,006, \quad (32)$$

$$d'_6 = \frac{0,310 - 0,254}{2} - 0,006 = 0,022 \text{ м.}$$

Выберем болты М22х2,5 мм,  $F_6 = 2,76 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$ .

в связи с тем, что диаметр болта равен 22 мм, коэффициент равен 45 мм, либо 0,045 м.

$$D'_\phi = 0,310 + 0,045 = 0,355 \text{ м.}$$

Определим размеры горловины фланца. Примем толщину стенки горловины в месте стыка ее с обечайкой примем равной 18 мм [29]. Согласно [29] данное значение для проектируемого аппарата необходимо умножить на 1,5, тогда толщина горловины будет 30 мм.

Приведенную нагрузку при затяжке соединения найдем по формулам 31, 32 [29] и при рабочих условиях [29].

$$P_1 = \frac{K}{K-1} \cdot \frac{D_B}{D_6} \left( \frac{D_6}{D_{II}} - 1 \right) P'_{61}, \quad (33)$$

$$P_2 = \frac{K}{K-1} \cdot \left[ P'_{62} \frac{D_B}{D_6} \left( \frac{D_6}{D_{II}} - 1 \right) + P'_c \left( 1 - \frac{D_B}{D_{II}} \right) \right], \quad (34)$$

где  $K$  – отношение фактического и внутреннего диаметров.

$$P'_{61} = \alpha P'_c + P'_{II} + \frac{4M_u}{D_n}, \quad (35)$$

$$P'_{62} = P'_c + P'_{II} + \frac{4M_u}{D_n}, \quad (36)$$

где –  $P'_c$  расчетная сила от давления среды, Мн;

$P'_{II}$  – расчетная сила осевого сжатия уплотняемых поверхностей в рабочих условиях, для обеспечения герметичности, Мн;

$M_u$  – изгибающий момент от действий внешних нагрузок;

$\alpha$  – константа жесткости для резиновой прокладки 0,8;

$D_{II}$  – средний диаметр уплотнения для данного аппарата 278 мм.

$$P'_c = \frac{\Pi}{4} D_{II}^2 p, \quad (37)$$

где  $p$  – расчетное давление Мн/м<sup>2</sup>.

$$P'_c = \frac{3,14}{4} \cdot 0,278^2 \cdot 0,115 = 0,007 \text{ Мн.}$$

$$P'_{\Pi} = \Pi D_{\Pi} b_{\text{экр}}, \quad (38)$$

где  $b_{\text{экр}}$  – эффективная ширина уплотнения, м;

$p$  – расчетное давление внутри аппарата, Мн/м<sup>2</sup>;

$k$  – поправочный коэффициент для резины равны 1.

$$P'_{\Pi} = 3,14 \cdot 0,278 \cdot 0,013 \cdot 1 \cdot 0,115 = 0,0013 \text{ Мн.}$$

На аппарат не воздействует никаких боковых нагрузок, тогда изгибающий момент равен 0.

$$P'_{\text{б1}} = 0,8 \cdot 0,007 + 0,0013 = 0,0069 \text{ Мн.}$$

$$P'_{\text{б2}} = 0,007 + 0,0013 = 0,0083 \text{ Мн.}$$

$$P_1 = \frac{1,4}{1,4-1} \cdot \frac{0,254}{0,310} \left( \frac{0,310}{0,278} - 1 \right) 0,0069 = 0,0023 \text{ Мн.}$$

$$P_2 = \frac{1,4}{1,4-1} \cdot \left[ 0,0083 \frac{0,254}{0,310} \left( \frac{0,310}{0,278} - 1 \right) + 0,0069 \left( 1 - \frac{0,254}{0,278} \right) \right] = 0,0048 \text{ Мн.}$$

Определим вспомогательную величину при затяжке соединения  $\Phi_1$  и при рабочих условиях.

$$\Phi_1 = \frac{P_1}{\sigma_{20}^t} \psi_1, \quad (39)$$

$$\Phi_1 = \frac{P_2}{\sigma_T^t} \psi_1, \quad (40)$$

где  $\sigma_{20}^t$ ,  $\sigma_T^t$  – допускаемое напряжение на растяжение материала фланца соответственно при 20 °С и рабочей температуре  $T$ , Мн/м<sup>2</sup>;

$\psi_1$  – коэффициент равный 1,17 для данного аппарата [29].

$$\Phi_1 = \frac{0,0023}{12,8} 1,17 = 0,00021 \text{ м}^2.$$

$$\Phi_2 = \frac{0,0048}{2,8} 1,17 = 0,0020 \text{ м}^2.$$

Определим вспомогательную величину  $A$ .

$$A=2\psi_2 S_3^2, \quad (41)$$

где  $\psi_2$  – коэффициент равный 3 для данного аппарата;

$S_3$  – эффективная толщина стенки равная  $2,5S_1$ , м.

$$A = 2 \cdot 3 \cdot 0,045^2 = 0,012 \text{ м}^2.$$

Так как  $\Phi_2 > \Phi_1$  далее в расчетах примем, что  $\Phi = \Phi_2$ .

Тогда высоту фланца определяем по формулам 42, 43.

$$h' = 0,5\sqrt{\Phi}, \quad (42)$$

$$h' = 0,27\sqrt[3]{D_B \Phi}, \quad (43)$$

$$h' = 0,5\sqrt{0,0020} = 0,022 \text{ м.}$$

$$h' = 0,27\sqrt[3]{0,254 \cdot 0,0020} = 0,021 \text{ м.}$$

Высоту фланца принимаем равной 22 мм.

Далее определим высоту фланца для обечайки. Определим  $\Phi_1$  и  $\Phi_2$  для стальной обечайки марки 08X18H10T.

$$\Phi_1 = \frac{0,0023}{133} 1,17 = 0,00002 \text{ м}^2.$$

$$\Phi_2 = \frac{0,0048}{128} 1,17 = 0,000044 \text{ м}^2.$$

Так как  $\Phi_2 > \Phi_1$  далее в расчетах примем, что  $\Phi = \Phi_2$ .

Определим вспомогательную величину  $A$  для стальной обечайки.

$$A = 2 \cdot 3 \cdot 0,008^2 = 0,00039 \text{ м}^2.$$

$$h' = 0,5\sqrt{0,000044} = 0,0033 \text{ м.}$$

$$h' = 0,27\sqrt[3]{0,254 \cdot 0,000044} = 0,006 \text{ м.}$$

Высота плоского круглого фланца для обечайки равен 6 мм.

Далее определим высоту фланца для крышки.

Определим вспомогательную величину  $A$  для стальной обечайки.

$$A = 2 \cdot 3 \cdot 0,015^2 = 0,00135 \text{ м}^2.$$

Так как для винипласта  $1,13A < \Phi$ , расчет высоты фланца ведем по формулам 44, 45 [29].

$$h' = \sqrt{\Phi - 0,85A}, \quad (44)$$

$$h' = 0,43\sqrt[3]{D_B(\Phi - 0,85A)}, \quad (45)$$

$$h' = \sqrt{0,002 - 0,85 \cdot 0,00135} = 0,028 \text{ м.}$$

$$h' = 0,43\sqrt[3]{0,254 \cdot (0,002 - 0,85 \cdot 0,00135)} = 0,026 \text{ м.}$$

Исходя из этого условия отбортовку крышки примем равную 28 мм.

### 3.6.2 Механический расчет основного аппарата

Механическому расчету подвергаются узлы и детали, испытывающие наибольшее механическое напряжение, в т.ч. меняющееся напряжение.

Проведем расчет и подбор опор аппарата. Для этого определим максимальную массу аппарата по уравнению.

$$G_{\max} = G_{\text{ап}} + G_{\text{реаг}}, \quad (46)$$

где  $G_{\max}$  – максимальная масса аппарата, кг;

$G_{\text{ап}}$  – масса корпуса аппарата, кг;

$G_{\text{реаг}}$  – масса электролита в аппарате.

$$G_{\text{ап}} = \rho_{\text{мат}} \cdot V_{\text{ст}} + \rho_{\text{катода}} \cdot V_{\text{катода}} + \rho_{\text{анода}} \cdot V_{\text{анода}}, \quad (47)$$

где  $\rho_{\text{мат}}$  – плотность материала корпуса аппарата, кг/м<sup>3</sup>;

$V_{\text{ст}}$  – объем стенок днища и крышки, м<sup>3</sup>.

$$V_{\text{ст}} = (V_1 - V_2), \quad (48)$$

где  $V_1$  – общий объем части аппарата с учетом стенок, мм<sup>3</sup>;

$V_2$  – объем аппарата без учета стенок, мм<sup>3</sup>.

$V_1$  и  $V_2$  определяем по формуле 50 и соответственно.

$$V_{1 \text{ обечайки}} = 3,14 \cdot 257^2 \cdot 1260 = 261316263,6 \text{ мм}^3.$$

$$V_{1 \text{ крышки}} = \frac{1}{3} \cdot 3,14 \cdot 140(260^2 + 260 \cdot 58,4 + 58,4^2) = 12630376 \text{ мм}^3.$$

$$V_{1 \text{ днища}} = 3,14 \cdot 272^2 \cdot 254 - 3,14 \cdot 254^2 \cdot 50 = 48877667 \text{ мм}^3.$$

$$V_{2 \text{ обечайки}} = 3,14 \cdot 254^2 \cdot 1260 = 255251102,4 \text{ мм}^3$$

Внутренний объем крышки равен 3000000 мм<sup>3</sup>.

$$V_{2 \text{ днища}} = 3,14 \cdot 254^2 \cdot 204 = 41326368,96 \text{ мм}^3$$

$$V_{\text{ст обечайки}} = 261316263,6 - 255251102,4 = 6065161,2 \text{ мм}^3.$$

$$V_{\text{ст крышки}} = 12630376 - 3000000 = 9630376 \text{ мм}^3.$$

$$V_{\text{ст днища}} = 48877667 - 41326369 = 7551298 \text{ мм}^3.$$

Плотность винипласта равна 1400 кг/м<sup>3</sup>, плотность титана 4506 кг/м<sup>3</sup>, плотность стали 7800 кг/м<sup>3</sup>.

Далее определим объем анода.

$$V_{\text{анода}} = (3,14 \cdot 210^2 \cdot 1514 - 3,14 \cdot 208^2 \cdot 1514) + 3,14 \cdot 40^2 \cdot 1512 = 11570598,6 \text{ мм}^3.$$

$$G_{\text{ап}} = 7800 \cdot 0,0061 + 1400 \cdot (0,00963 + 0,00755) + 4506 \cdot 0,0116 = 124 \text{ кг.}$$

Найдем массу электролита.

$$G_{\text{реак}} = 1130 \cdot 0,064 = 72,3 \text{ кг.}$$

$$G_{\text{max}} = 124 + 72,3 = 196,3 \text{ кг.}$$

Определим нагрузку на опоры аппарата по формуле 49.

$$Q = \frac{G_{\text{max}}}{n} \quad (49)$$

где n – количество опор.

$$Q = \frac{196,3}{3} = 65,4 \text{ Н.}$$

### 3.6.3 Гидравлический расчет основного аппарата

Для расчета гидравлических параметров аппарата необходимо определить его рабочий объем, который складывается из полного внутреннего объема аппарата за вычетом объема анода.

Объем крышки известен исходя из расчета габаритов аппарата и равен 3 л. Объем плоского днища и обечайки определим по формуле 50.

$$V_{\text{цилиндра}} = \pi R^2 H, \quad (50)$$

где  $R$  – внутренний радиус ванны, мм;

$H$  – высота ванны, мм.

По этому уравнению определим объем обечайки.

$$V_{\text{обечайки}} = 3,14 \cdot 0,127^2 \cdot 1,26 = 0,064 \text{ м}^3.$$

Далее определим объем анода используя ту же формулу.

$$V_{\text{анода}} = 3,14 \cdot 0,117^2 \cdot 0,508 = 0,021 \text{ м}^3.$$

Объем днища определяется по той же формуле.

$$V_{\text{днища}} = 3,14 \cdot 0,127^2 \cdot 0,254 = 0,013 \text{ м}^3.$$

$$V_{\text{ванны.рабочий}} = V_{\text{общий}} - V_{\text{анода}}, \quad (51)$$

$$V_{\text{ванны.рабочий}} = 0,077 - 0,013 = 0,064 \text{ м}^3.$$

По условиям проведения процесса получения меди его проводят при различных расходах электролита. Осаждение проводят при расходе электролита 4 м<sup>3</sup>/ч, а процесс снятия порошка проводится при расходе 10 м<sup>3</sup>/ч. Диаметр патрубка определяется по формуле [29].

$$d = \sqrt{\frac{V}{0,785\omega}}, \quad (52)$$

где  $V$  – объемный расход электролита, м<sup>3</sup>/с;

$\omega$  – скорость потока, м/с.

В качестве патрубков будем использовать трубы с условным диаметром  $D_y$  50.

$$\omega = \frac{0,0028}{0,785 \cdot 0,05^2} = 1,43 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

Рассчитаем критерий Рейнольдса, который характеризует характеризующий гидравлический режим и являющийся отношением сил трения и инерции в потоке [31].

$$Re = \frac{\omega d \rho}{\mu}, \quad (53)$$

где  $\omega$  – скорость потока жидкости, м/с;

$d$  – диаметр трубопровода или аппарата, м;

$\rho$  – плотность электролита, г/м<sup>3</sup>;

$\mu$  – динамическая вязкость, (Н·с)/м<sup>2</sup>.

Примем, что поток в аппарат подается тангенциально по спирали через некруглое сечение коэффициент Рейнольдса рассчитаем через гидравлический радиус, который рассчитывается по формуле.

$$d_3 = \frac{4f}{\Pi}, \quad (54)$$

где  $\Pi$  – периметр сечения, м;

$f$  – площадь сечения в данном случае это прямоугольник, м.

Примем что гидравлический диаметр равен диаметру патрубка. Поток электролита в аппарате имеет прямоугольное сечение. В котором наибольшая сторона равна диаметру патрубка, а меньшая сторона расстоянию между электродами. Найдем расстояние между электродами.

Из условия [29] что:

$$V = \omega_1 f_1 = \omega_2 f_2, \quad (55)$$

Определим расстояние между электродами. Площадь сечения патрубка равна площади круга, вычислим ее по формуле.



$$f_1 = \frac{\Pi d^2}{4}, \quad (56)$$

где  $d$  – диаметр, м.

Примем что скорость потока в аппарате равен максимальной скорости допустимой для жидкостей, передвигающихся в напорных трубопроводах 2,5 м/с. Тогда из условия равенства расхода определим поперечное сечение потока в аппарате.

$$f_1 = \frac{3,14 \cdot 0,05^2}{4} = 0,0020 \text{ м}^2.$$

$$f_2 = \frac{\omega_1 f_1}{\omega_2}, \quad (57)$$

$$f_2 = \frac{1,43 \cdot 0,0020}{2,5} = 0,0011 \text{ м}^2$$

$$f_2 = a \cdot b, \quad (58)$$

где  $a$  – сторона прямоугольника, м;

$b$  – сторона прямоугольника, м.

$$a = \frac{0,0011}{0,05} = 0,022 \text{ м.}$$

Таким образом, расстояние между электродами равно 22 мм.

В соответствии с аддитивностью текучестей компонентов динамический коэффициент вязкости смеси нормальных жидкостей определяется по уравнению 59 [29].

$$\frac{1}{\mu_{см}} = \sum \frac{X}{\mu_n}, \quad (59)$$

где  $X$  – объемная доля вещества;

$\mu_n$  – динамическая вязкость компонента смеси, (Н·с)/м<sup>2</sup>.

Динамическую вязкость электролита примем равной вязкости 20 % раствора серной кислоты равной 0,00076 (Н·с)/м<sup>2</sup>.

$$Re = \frac{1,43 \cdot 0,05 \cdot 1130}{0,00076} = 106309.$$

Внутри трубопровода развит турбулентный поток. Для расчета потока внутри аппарата используем гидравлический диаметр равный 0,031 м.

$$Re = \frac{2,5 \cdot 0,031 \cdot 1130}{0,00076} = 115004.$$

Таким образом в аппарат раствор подается в состоянии развитого турбулентного потока.

Также рассчитаем скорости потоков в аппарате и в трубопроводе при расходе 4 м<sup>3</sup>/ч.

$$\omega_1 = \frac{0,0011}{0,785 \cdot 0,05^2} = 0,56 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

Скорость потока в трубопроводе при проведении процесса осаждения.

$$\omega_2 = \frac{0,0011}{0,0011} = 1 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

Скорость потока в аппарате равен

$$Re = \frac{0,56 \cdot 0,05 \cdot 1130}{0,00076} = 41632.$$

В трубопроводе развит турбулентный поток.

$$Re = \frac{1 \cdot 0,031 \cdot 1130}{0,00076} = 45170.$$

В аппарате также развит турбулентный поток

Далее определим полное гидравлическое сопротивление сети, которое рассчитывается по формуле 60 [29].

$$\Delta p = \Delta p_{\text{ск}} + \Delta p_{\text{тр}} + \Delta p_{\text{м.с.}} + \Delta p_{\text{под}} \quad (60)$$

где  $\Delta p_{\text{ск}}$  – затрата давления на создание скорости потока на выходе из сети;

$\Delta p_{\text{тр}}$  – потеря давления на преодоление сопротивление трения;

$\Delta p_{\text{м.с.}}$  – потеря давления на преодоление местных сопротивлений;

$\Delta p_{\text{под}}$  – затрата давления на подъем жидкости;

Затрата давления на создание скорости потока определяется по формуле 59 [29] при расходе 4 м<sup>3</sup> и 10 м<sup>3</sup>.

$$\Delta p_{\text{ск}} = \frac{\omega^2 \rho}{2}, \quad (61)$$

где  $\omega$  – скорость потока в аппарате, м/с;

$\rho$  – плотность электролита, кг/м<sup>3</sup>.

$$\Delta p_{\text{ск}} = \frac{0,56^2 \cdot 1130}{2} = 177,2 \text{ Па.}$$

Далее рассчитаем давление на преодоление трения по формуле 62 [29].

$$\Delta p_{\text{тр}} = \lambda \frac{L}{d_3} \frac{\omega^2 \rho}{2}, \quad (62)$$

где  $\lambda$  – коэффициент трения;

$L$  – длина трубы / аппарата, м;

$d_3$  – эквивалентный диаметр, м;

$\omega$  – скорость потока в аппарате, м/с;

$\rho$  – плотность электролита, кг/м<sup>3</sup>.

$$\lambda = \frac{0,316}{\text{Re}^{0,25}}, \quad (63)$$

$$\lambda = \frac{0,316}{45170^{0,25}} = 0,022.$$

$$\Delta p_{\text{тр}} = 0,022 \cdot \frac{26,4}{0,031} \cdot 177,2 = 3317,83 \text{ Па.}$$

Потеря давления в змеевике больше чем в прямой трубе и определяется по формуле 64 [29].

$$\Delta p_{\text{зм}} = \Delta p_{\text{тр}} \varphi, \quad (64)$$

где  $\varphi$  – безразмерный коэффициент.

$$\varphi = 1 + 3,54 \frac{d}{D}, \quad (65)$$

где  $d$  – внутренний диаметр трубы, м;

$D$  – диаметр витка змеевика, м.

$$\varphi = 1 + 3,54 \cdot \frac{0,031}{0,254} = 1,43.$$

$$\Delta p_{3M} = 3317,83 \cdot 1,43 = 4751,29 \text{ Па.}$$

$$\Delta p_{m.c} = \sum \xi \frac{\omega^2 \rho}{2}, \quad (66)$$

где  $\xi$  – коэффициент местного сопротивления.

$$\Delta p_{m.c} = 2 \cdot 177,2 = 354,4 \text{ Па.}$$

$$\Delta p_{\text{под}} = \rho g h, \quad (67)$$

где  $g$  – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>;

$h$  – высота подъема, м.

Примем высоту подъема равную 3 м.

$$\Delta p_{\text{под}} = 1130 \cdot 9,81 \cdot 3 = 33255,9 \text{ Па.}$$

$$\Delta p = 177,2 + 4751,3 + 354,4 + 33255,9 = 38538,8 \text{ Па.}$$

Определим гидравлическое сопротивление аппарата при расходе 10 м<sup>3</sup>.

$$\Delta p_{\text{ск}} = \frac{2,5^2 \cdot 1130}{2} = 1412,5 \text{ Па.}$$

При значениях критерия Рейнольдса больше 100000 уравнение 63 не применимо и необходимо использовать уравнение 68 [31].

$$\lambda = \frac{1,01}{(\lg Re)^{2,5}}, \quad (68)$$

$$\lambda = \frac{1,01}{(\lg 115004)^{2,5}} = 0,017.$$

$$\Delta p_{\text{тр}} = 0,017 \cdot \frac{26,4}{0,031} \cdot 1412,5 = 20449,4 \text{ Па.}$$

$$\Delta p_{3M} = 20449,4 \cdot 1,43 = 29242,6 \text{ Па.}$$

$$\Delta p_{m.c} = 2 \cdot 1412,5 = 2825 \text{ Па.}$$

$$\Delta p_{\text{под}} = 1130 \cdot 9,81 \cdot 3 = 33255,9 \text{ Па.}$$

$$\Delta p = 1412,5 + 29242,6 + 2825 + 33255,9 = 66736 \text{ Па.}$$

Далее рассчитаем мощность насосов для перекачивания электролита с данными расходами по формуле 69 [29].

$$N = \frac{V \Delta p}{1000 \eta}, \quad (69)$$

где  $V$  – объемный расход электролита, м<sup>3</sup>/с;

$\eta$  – коэффициент полезного действия насоса;

$\Delta p$  – полное гидравлическое сопротивление, Па.

При расходе 4 м<sup>3</sup>/ч.

$$N = \frac{0,0011 \cdot 38538,8}{1000 \cdot 0,75} = 0,057 \text{ кВт.}$$

При расходе 10 м<sup>3</sup>/ч.

$$N = \frac{0,0028 \cdot 66736}{1000 \cdot 0,75} = 0,25 \text{ кВт.}$$

Мощности необходимые для перекачивания электролита в одной ячейке. Для всего участка данные значения необходимо умножить на 21.

### 3.6.4 Электротехнический расчет основного аппарата

Для расчета напряжения подаваемого на электролизер, необходимого для проведения процесса электролиза воспользуемся формулой 71 [33].

$$U_{\text{ван}} = \eta_a + \eta_k + \Delta U_a + \Delta U_k + \Delta U_э + \Delta E_{\text{разл}}, \quad (71)$$

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

$\eta_a$  – перенапряжение на аноде, В;

$\eta_k$  – перенапряжение на катоде, В;

$\Delta U_a$  – падение напряжения на аноде, В;

$\Delta U_k$  – падение напряжения на катоде, В;

$\Delta U_э$  – падение напряжения в электролите, В.

Из справочных данных находим значения удельных сопротивлений для материалов катода и анода, а также компонентов раствора электролита.

Для титана удельное сопротивление равно  $0,7837 \cdot 10^{-6}$  Ом·м, для стали  $0,137 \cdot 10^{-6}$  Ом·м, для раствора электролита удельное сопротивление рассчитывается по формуле 73 [33].

$$P = K \cdot 1,364 + 0,00942 C_{\text{Cu}^{2+}}, \quad (73)$$

где  $K$  – коэффициент изменения сопротивления относительно раствора с концентрацией серной кислоты 150г/л;

$C_{\text{Cu}^{2+}}$  – концентрация ионов меди в растворе электролита.

$$P = 0,768 \cdot 1,364 + 0,00942 \cdot 8 = 1,123 \text{ Ом} \cdot \text{см.} = 0,01123 \text{ Ом} \cdot \text{м.}$$

$$\Delta U_a = P_a \cdot l_a \cdot i_a, \quad (74)$$

где  $P_a$  – удельное сопротивление материала анода, Ом·м;

$l_a$  – длина анода, м;

$i_a$  – анодная плотность тока, А/м<sup>2</sup>.

$$\Delta U_a = 0,7837 \cdot 10^{-6} \cdot 1,514 \cdot 3610 = 0,0043 \text{ В.}$$

$$\Delta U_k = \rho_k \cdot l_k \cdot i_k, \quad (75)$$

$$\Delta U_k = 0,137 \cdot 10^{-6} \cdot 1,26 \cdot 3000 = 0,00052 \text{ В.}$$

$$\Delta U_3 = \frac{P_{\text{электролита}} \cdot l_{\text{МК}} \cdot I \cdot K}{\sqrt{S_k + S_a}}, \quad (76)$$

где  $P$  – удельная проводимость компонента электролита, Ом·м;

$K$  – коэффициент газификации электролита равный 20 %;

$l_{\text{МК}}$  – расстояние между электродами, мм.

$$\Delta U_3 = \frac{0,0113 \cdot 0,022 \cdot 3000 \cdot 1,2}{\sqrt{1 + 0,831}} = 0,66 \text{ В.}$$

Значения перенапряжения на катоде и аноде выражается уравнением Тафеля [35].

$$\eta = a + b \cdot \lg i, \quad (77)$$

где  $a$  и  $b$  – экспериментально вычисленные коэффициенты;

$i$  – плотность тока анодная, А/м<sup>2</sup>.

Для ОРТА анода перенапряжение можно определить [35]:

$$\eta = 0,25 + 0,12 \cdot \lg 3610 = 0,68 \text{ В.}$$

Уравнение Тафеля для катодного процесса будет выглядеть следующим образом [2].

$$\eta = 0,87 + 0,12 \cdot \lg 3000 = 1,29 \text{ В.}$$

Напряжение разложения определяют по формуле [2].

$$E_{\text{разл}} = E_+ - E_-, \quad (78)$$

где  $E_+$  – потенциал реакции на аноде, В;

$E_-$  – потенциал реакции на катоде, В.

Потенциал реакции определяется по уравнению Нернста [24].

$$U = E^0 + \frac{2,3RT}{zF} \lg \frac{a_{\text{Ox}}}{a_{\text{Red}}}, \quad (79)$$

где  $E^0$  – стандартный электродный потенциал реакции, В;

$R$  – универсальная газовая постоянная;

$T$  – температура процесса, К;

$z$  – количество электронов участвующих в реакции;

$F$  – число фарадея;

$a_{\text{Red}}$  – активность окисленной формы компонента раствора;

$a_{\text{Ox}}$  – активность восстановленной формы компонента раствора.

$$E_- = 0,35 + \frac{2,3 \cdot 8,314 \cdot 333}{2 \cdot 96500} \lg \frac{0,125}{1} = 0,32 \text{ В.}$$

$$E_+ = 1,23 + \frac{2,3 \cdot 8,314 \cdot 333}{4 \cdot 96500} \lg \frac{0,14}{1} = 1,22 \text{ В.}$$

$$E_{\text{разл}} = 1,22 - 0,34 = 0,88 \text{ В.}$$

$$U_{\text{ван}} = 0,68 + 1,29 + 0,0043 + 0,00052 + 0,66 + 0,88 = 3,52 \text{ В.}$$

Определим удельные затраты электроэнергии по формуле 80 [35].

$$W_{\text{уд}} = \frac{U_{\text{ван}} \cdot I \cdot \tau}{G_{\text{Cu}} \cdot V_{\text{T}_{\text{Cu}}}}, \quad (80)$$

$$W_{\text{уд}} = \frac{3,52 \cdot 3000 \cdot 1}{3208,29 \cdot 0,90} = 3,7 \frac{\text{кВт} \cdot \text{ч}}{\text{кг}}.$$

Определим общее напряжение, которое должен обеспечить источник постоянного тока, складывается из суммы напряжения на ванне и падения напряжения в токоподводе по формуле 81:

$$U_{\text{ист}} = U_{\text{ван}} + U_{\text{пот}}, \quad (81)$$

Примем длину проводов токоподвода, равную 10 м. Материал проводов – медь. Рассчитаем падение напряжения в проводах по формуле.

$$\Delta U_{\text{пот}} = \frac{\rho_{\text{Cu}} \cdot I \cdot L}{S}, \quad (82)$$

где  $\rho_{\text{Cu}}$  – удельное сопротивление меди,  $\rho_{\text{Cu}} = 1,68 \cdot 10^{-6} \text{ Ом} \cdot \text{см}$ ;

$l$  – длина проводов,  $l_{\text{пр}} = 10 \text{ м}$ ;

$S$  – сечение провода,  $\text{см}^2$ .

$$S = \frac{I}{i_{\text{прох}}}, \quad (83)$$

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

$$S = \frac{3000}{3} = 1000 \text{ мм}^2.$$

$$\Delta U_{\text{пот}} = \frac{1,68 \cdot 10^{-6} \cdot 3000 \cdot 1000 \cdot 3}{10} = 1,512 \text{ В}.$$

$$U_{\text{ист}} = 3,52 + 1,51 = 5,03 \text{ В}.$$

#### 4 Результаты расчетов

В ходе проведения расчетов были определены основные параметры технологические и конструкционные параметры электролитической ячейки. Согласно поставленному заданию производительность участка цеха по медному порошку составляет 67,4 кг/ч по медному порошку. Участок цеха работает 8 часов в день 5 дней в неделю. В работе было принято, что площадь одного катода равна 1 м<sup>2</sup>. Исходя из этого условия была определена общая



площадь всех катодов которая составила  $21 \text{ м}^2$ , а, следовательно, 21 электролитическая ячейка. В работе было принято, что плотность тока одного катода составляет  $3000 \text{ А/м}^2$ , а общая сила тока составляет 63,1 кА.

По результатам расчета габаритных размеров электролитической ячейки внутренний диаметр ячейки составляет 254 мм. Высота обечайки, которая одновременно с этим является катодом составляет 1260 мм. Обечайка выполнена из кислотостойкой стали марки 08X18H10T. Толщина стенки обечайки согласно проведенным расчетам равна 3 мм. Фактический диаметр фланца равен 355 мм, диаметр болтовой окружности равен 310 мм. Высота фланца равна 6 мм. В аппарате организовано прокладочное уплотнение с помощью шип пазов. Средний диаметр уплотнений составляет 278 мм. Ширина уплотнений составляет 13 мм. Прокладки выполнены из кислотостойкой резины прямоугольного сечения.

Крышка и днище аппарата выполнены из винипласта. Крышкой аппарата является коническое днище с углом при вершине  $90^\circ$ . Высота крышки составляет 140 мм, диаметр фланцев днища, крышки и обечайки совпадают. Высота фланца крышки равна высоте отбортовки днища и составляет 28 мм. Толщина стенки днища равны 6 мм. Диаметр выходного патрубка равен 50 мм. В качестве днища принимается плоское днище высотой 254 мм и внутренним диаметром 254 мм. Толщина боковых стенок составляет 18 мм, а толщина горизонтальной части днища с учетом ослабления днища из-за отверстия 30 мм в днище для крепления анода и конструкционной прибавки составляет 50 мм. Фланцы днища представляют собой фланцы цельного круглого сечения с конической горловиной высотой 22 мм и углом в  $30^\circ$ . Для организации закрученного вертикального потока патрубков расположен под углом в  $30^\circ$  по отношению к днищу аппарата. Условный диаметр входного патрубка составляет 50 мм. Анод представляет из себя цилиндр диаметром 210 мм соединенный со стержнем расположенном на оси цилиндра. Цилиндрический анод выполнен из титана марки ВТ1–0 покрытый слоем

оксида рутения. Стержень выполнен из той же стали что и обечайка. Диаметр стержня равен 40 мм. Высота анода равна 1514 мм. Толщина анода составляет 2 мм.

Согласно механическому расчету масса одной ячейки в рабочем состоянии заполненной электролитом равна 196,3 кг. В расчетах принимается, что аппарат крепится к раме электролитической батареи. Количество креплений 3 которые расположены на крышке 2 шт. и 1 на днище.

По результатам гидравлического расчета были определены режимы течения электролита в аппарате при проведении процессов осаждения и снятия осадка. При всех режимах работы при 4 м<sup>3</sup>/ч и 10 м<sup>3</sup>/ч наблюдается турбулентный режим. Для перекачивания электролита необходимо иметь два насоса с минимальной мощностью 1,26 кВт для перекачивания электролита с расходом 4 м<sup>3</sup>/ч, и 5,25 кВт 10 м<sup>3</sup>/ч.

Согласно электротехническому расчету электролитической ячейки напряжение на ванне составляет 3,52 В, а с учетом потерь на контактах, напряжение на ванне составит 5,03 В, при этом площадь сечения кабеля токоподвода должно быть не менее 1000 мм<sup>2</sup>. Материалом кабеля является медь. Тип кабеля ВВГнг 1х1000 с допустимой нагрузкой в 1000 А при прокладке кабеля на воздухе, следовательно, на каждую электролитическую ячейку приходится по 3 кабеля. Удельные затраты электроэнергии составляют 3,7 кВт·ч/кг.

## **5 План размещения оборудования**

### **5.1 Подбор основного технологического оборудования**

Для функционирования технологической линии получения медного порошка необходимо следующее оборудование: центробежные насосы различной производительности, аппарат теплообменный, сборные емкости, отстойник, фильтр-пресс и источник постоянного тока.

### **5.2 Расчет геометрии и габаритов оборудования**

Для перекачивания электролита необходимы центробежные насосы различной производительности. Насос для перекачивания электролита при проведении процесса осаждения должен обеспечивать производительность 4 м<sup>3</sup>/ч. Для этого выберем центробежный химический насос АТ0550 производителя IML [37] с мощностью электродвигателя 4 кВт и максимальной производительностью 84 м<sup>3</sup>/ч.

Для организации процесса съема порошка необходима производительность насоса 10 м<sup>3</sup>/ч для этой цели подойдет центробежный химический насос ЦНСк 200/40 [38] с двигателем мощностью 55 кВт. Для перекачивания электролита из емкости-отстойника при ее опорожнении и отправки раствора на корректировку по содержанию серной кислоты, примесей и меди. Насос для этого должен обеспечивать производительность не менее 84 м<sup>3</sup>/ч. Для этого используем центробежный химический насос АТ0550 с максимальной производительностью в 84 м<sup>3</sup>/ч. Все выше перечисленные насосы выполнены в кислотостойком исполнении.

Таблица 8 – Габаритные размеры насосов

Насос (марка / производительность м <sup>3</sup> /ч)	Высота, мм	Длина, мм	Ширина, мм
ЦНСк 200/40	520	1270	500
АТ0550	535	840	330

Для поддержания температуры раствора электролита необходим теплообменник с минимальной производительностью 200 м<sup>3</sup>/ч. Для этой задачи подойдёт пластинчатый теплообменник НН 81 фирмы Ридан [39]. Имеющий следующие технические параметры. Производительность до 40 м<sup>3</sup>/ч площадью теплообмена 30 м<sup>2</sup>. Имеющий следующие габаритные размеры ширину 210 мм, длину 425 мм, высоту 611 мм [39].

Для обеспечения необходимой силы тока в 63 кА необходимо 5 выпрямительных агрегатов ТВ1 – 12500/12–2 УХЛ4 с водяным охлаждением [40]. Агрегаты имеют следующие габаритные размеры: высота 1650 мм, ширина 1550 мм, длина 2110 мм. Для проведения процесса отстаивания и сгущения осадка медного порошка и дальнейшей его транспортировке на фильтр-пресс необходим отстойник с объемом не менее 9 м<sup>3</sup>. Для этого выберем вертикальный закрытый отстойник китайской фирмы PENGKAI модели SLC – 2000 с диаметром корпуса 2000 мм и высотой 5885 мм [41].

Для разделения твердого осадка медного порошка от жидкой фазы электролита принято решение использовать фильтр-пресс марки Ш4–ВФП [42] с функцией промывки осадка. Фильтр пресс имеет следующие габаритные размеры: длина 2300 мм, ширина 1090 мм, высота 1430 мм. Также для работы участка получения медного порошка необходима емкость куда после процесса фильтрации попадает отфильтрованный электролит. Для этой цели подойдет полипропиленовая емкость на 5 м<sup>3</sup>/ч с диаметром 1950 мм и высотой 2000 мм.

Для охлаждения источников электрического тока, а также токоподводящей шины необходимо приобрести чиллеры. В данной работе было принято решение приобрести промышленные чиллеры FKL–5HP [43] в количестве 4 устройства.

Таблица 9 – Габаритные размеры вспомогательного оборудования.

Вспомогательное оборудование	Высота, мм	Длина, мм	Ширина / диаметр, мм
Теплообменник	611	1535	210
Выпрямитель тока	1650	2110	1550
Отстойник	5885	–	2000
Фильт-пресс	1430	2300	1090
Емкость для электролита	2000	–	1950
Чиллер	1350	455	821

### 5.3 Энергетический расчет технологической схемы

Энергетический расчет технологической схемы представлен в таблице 10 в которой представлены энергетические расходы технологического оборудования за один час работы.

Таблица 10 – Энергетические показатели технологической схемы

Оборудование	Количество, шт	Энергозатраты ед. оборуд., кВт·ч
ЦНСк 200/40	1	55
АТ0550	3	4
Электролитическая ячейка	21	249,0
Выпрямитель тока	5	150,0
Фильт-пресс	1	6,2
Чиллер	4	15,0
Итого, энергозатраты всего оборудования		6049

## 5.4 План размещения оборудования

Технологическое и вспомогательное оборудование располагается на нулевом уровне. Стены здания выполнены из железобетонных стеновых панелей.

Проектируемый участок получения электролитического медного порошка по пожаро- и взрывобезопасности относится к категории Г [44].

Для разработки плана размещения основного и вспомогательного оборудования необходимо учитывать их габаритные размеры. Габаритные размеры представлены в таблице 11. Габаритные размеры одной электролитической ячейки равны: ширина 400 мм, высота 1654 мм. В таблице указаны размеры электролитической батареи.

Таблица 11 – Габаритные размеры основного и вспомогательного оборудования

<b>Оборудование</b>	<b>Высота, мм</b>	<b>Длина, мм</b>	<b>Ширина / диаметр, мм</b>
Теплообменник	210	425	611
Выпрямитель тока	1650	2110	1550
Отстойник	5885	–	2000
Фильт-пресс	1430	2300	1090
Емкость для электролита	2000	–	1950
Чиллер	1350	455	821
Электролитическая батарея	1654	–	2800

Согласно [45] минимальное расстояние между соседними машинами и аппаратами, а также от стен до оборудования не должны быть менее установленных значений. 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 8400 мм. С учетом всех производственных помещений, длина проектируемого цеха будет составлять 24000 мм, а его ширина 18000 мм.

Для обслуживания электролитических батарей к ним подводятся лестничные площадки с ограждениями. Лестница установлена под углом 45 °, ступеньки изготавливают из рифленой стали шириной 250 мм, при толщине 3 мм, которые привариваются к балке ограждения.

#### **5.4.1 Основание**

Здания и сооружения всегда строятся на определенном грунте. Основанием для зданий и сооружений являются различные породы, такие как щебень, галька, гравий. Эти виды грунтов являются слабосжимаемыми и имеют значительное сопротивление сдвигу. Эти свойства делают их хорошими основаниями под здание [46].

#### **5.4.2 Фундамент**

В качестве фундамента проектируемого здания выбираем ленточный сборный фундамент. Данный тип фундамента состоит из типовых железобетонных блоков, уложенных на раствор и скрепленных армшвом [46]. Глубина закладки фундамента под несущие стены в грунтах подверженным глубокому промерзанию не должна быть менее 2 м [46]. Примем глубину закладки фундамента равную 2,5 м. на такую же глубину устанавливается фундамент стаканного типа для закладки железобетонных балок.

### **5.4.3 Наружные стены цеха**

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. Стены здания монтируются из пенобетонных панелей со следующими размерами: длина 6000 мм, ширина 3000 мм, толщина 400 мм [47].

### **5.4.4 Колонны**

Для построения проектируемого здания участка цеха выбраны одноветьевые колонны с шагом между ними 6000 мм. Полная высота железобетонных колон 9300 мм [48]. Применяются железобетонные колонны, выполненные по [48].

### **5.4.5 Покрытия**

Покрытия включают в себя две основные части здания несущую и ограждающую. В качестве настила в промышленных помещениях чаще всего используют крупнопанельные железобетонные плиты [47], которые опираются на несущие конструкции. Утеплитель наносится непосредственно поверх настила. В качестве утеплителя применяется пенобетон [49].

Кровля – это водоизолирующий слой, который предназначен для ограждения несущих конструкций здания от атмосферных осадков [49]. В качестве настила используются ребристые крупнопанельные плиты размерами: длина 6000 мм, ширина 3000 мм. Для утепления, применяется керамзит. Кровля здания выполняется из рубероидной кровли, пропитанной



битумной мастикой. Основанием кровли служит битумная стяжка из бетона марки М–300.

Полы проектируемого здания выполнены из бетонной стяжки так как пол подвержен высоким механическим нагрузкам. В бытовых и вспомогательных помещениях полы покрыты линолеумом в сухих помещениях и керамической плиткой во влажных.

#### **5.4.6 Окна, двери и ворота**

Освещение естественным светом основных и вспомогательных помещений планируется осуществлять с помощью отдельных оконных проемов с размерами: ширина 2963 мм, высота 1715 мм [49]. Здание освещается естественным и искусственным светом.

Внутренние двери приняты типовыми, состоящими из деревянных коробок и деревянного полотна шириной 800 мм и высотой 2000 мм. Двери между цехом и другими помещениями имеют размеры: ширина 1000 мм, высота 2500 мм [49].

В проектируемом здании предусмотрено наличие двойных ворот для въезда и выезда грузовых машин. Ворота имеют следующие размеры: ширина и высота равны 3000 мм [50]. Ворота распашные, промышленные выполнены из тонкой стали.

#### **5.4.7 Водоснабжение**

Система водоснабжения для промышленного предприятия имеет большое значение и предназначена для обеспечения производства водой для хозяйственно-питьевых и производственных, а также противопожарных нужд.

Производственный водопровод обеспечивает подачу воды, необходимой для улавливания отводимых на нейтрализацию газов.

Требования к качеству воды выдвигаются в соответствии и технологическими требованиями. Воды для хозяйственно-питьевых нужд подается к умывальникам, для проведения уборки помещений.

Кроме того, предусмотрен пожарный водопровод. Используемый в чрезвычайных ситуациях для тушения пожаров и ликвидации их последствий.

#### **5.4.8 Канализация**

На участке предполагается наличие двух видов канализации – бытовой и производственной.

Внутренние сети бытовой канализации изготавливаются из чугунных труб, а сети промышленной канализации из керамических труб [49].

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

Основной задачей экономического расчета является определение себестоимости продукции, экономическое обоснование финансовой целесообразности проекта и выявление условий, при достижении которых создание предприятия является экономически оправданным.

### **6.1 Расчет производственной мощности**

Из условий, приведенных в материальном балансе участок по электролитическому получению медного порошка работает по 40 часов в неделю 8 часов в день. Таким образом, участок работает 5 дней в неделю. Учитывая, что в 2020 году согласно производственному календарю в приложении А 1979 рабочих часов. В таблице 4 представлены данные по времени простоя оборудования во время планово-предупредительного ремонта (ППР). В рамках которых проводятся технические осмотры, текущие и капитальные ремонты. В работе принято, что график ППР для проектируемого аппарата соответствует графику ППР электролизера для получения хлора БГК–15/25. Из таблицы 4 видно, что в год на текущий и капитальный ремонт 22 часа из которых 16 часов приходится на текущий ремонт, а 6 часов на капитальный. Согласно расчетам текущий ремонт проводится один раз в три года, а капитальный раз в семнадцать лет.

Учитывая режим работы аппарата процесс осаждения медного порошка длится 15 минут, а процесс снятия порошка 5 минут время работы основного оборудования равно 1979 часов. Такое время работы обеспечивает производительность в 100 тонн медного порошка в год.

## 6.2 Определение баланса времени одного рабочего

Число 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. Данные по числу рабочих и нерабочих дней берутся из приложения А.

Таблица 12 – Баланс рабочего времени среднесуточного рабочего

Элементы времени	Полунепрерывное производство, 8-часовой рабочий день, 7 дней в неделю	
	дней	часов
Календарное число дней	365	8760
Выходные дни	118	2832
Номинальный фонд рабочего времени	248	5952
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
Итого (планируемые невыходы):	51	1224
Эффективный фонд рабочего времени	197	4728

Тогда эффективный фонд рабочего времени составит:

$$T_{\text{эф}} = 197 \cdot 8 = 1576 \text{ ч.}$$

### 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 [51]:

$$R_{\text{яв}} = \frac{F \cdot C}{N_{\text{обс}}}, \quad (84)$$

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.

$$R_{\text{яв}} = \frac{21 \cdot 1}{7} = 3.$$

Далее определим списочное число основных рабочих [51]:

$$R_{\text{с}} = \frac{R_{\text{яв}} \cdot T_{\text{эф.об}}}{T_{\text{эф.раб}}}, \quad (85)$$

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

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

$$R_{\text{с}} = \frac{3 \cdot 248}{197} = 3,78 \approx 4.$$

Тогда состав рабочего персонала приведем в таблице 13.

Таблица 13 – Численность основных рабочих

Профессия	Тариф разряд	$R_{яв}$ в сутки	$R_{сп}$ в сутки	Число рабочих дней в году	Число рабочих дней оборуд.	Число смен в сутки
Аппаратчик	5	3	4	197	248	1
Оператор	6	2	3			

#### 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:

$$K = \frac{T_{\text{раб.об}}}{T_{\text{раб.дн}}}, \quad (86)$$

$$K = \frac{248}{197} = 1,25.$$

$$R_C = \frac{3 \cdot 248}{197} = 3,78 \approx 4.$$

Число дежурного персонала сведем в таблицу 14.

Таблица 14 – Численность вспомогательного персонала

Профессия	Разряд	Число рабочих в смену	$R_{яв}$ , в сутки	$R_{сп}$ , в сутки	Число рабочих дней в году	Число рабочих дней оборуд.
Дежурный слесарь	5	1	1	1	197	248

Продолжение таблицы 14

Дежурный электрик	5	1	1	1	197	248
Дежурный КИПиА	5	1	1	1	197	248

### 6.5 Расчет численности специалистов, руководителей и служащих

Количество руководителей, специалистов и служащих рассчитывается в соответствии с потребностями участка в каждой группе работников. Число руководителей, специалистов и служащих представлен в таблице 15.

Таблица 15 – Численность руководителей, специалистов и служащих

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

### 6.6 Расчет годового фонда заработной платы

#### 6.6.1 Расчет фонда заработной платы основных рабочих

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

Основной фонд (ЗП) [52]:

$$Z_{\text{тар}} = Z_{\text{тар}} + D_{\text{пр}} + D_{\text{н.вр}} + D_{\text{праз.}} + D_{\text{вред}}, \quad (87)$$

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:

$$Z_{\text{тар}} = Z_{\text{тар}}^5 + Z_{\text{тар}}^6, \quad (88)$$

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

$$Z_{\text{тар}}^i = R_{\text{сп}}^i \cdot T_{\text{эф}} \cdot T_{\text{ст}}^i, \quad (89)$$

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, 5 разряда - 180 руб/час.

$$Z_{\text{тар}}^5 = 3 \cdot 1979 \cdot 180 = 1068660 \frac{\text{руб}}{\text{год}}$$

$$Z_{\text{тар}}^6 = 2 \cdot 1979 \cdot 180 = 791600 \frac{\text{руб}}{\text{год}}$$

$$Z_{\text{тар}} = 1068660 + 791600 = 1860260 \frac{\text{руб}}{\text{год}}.$$

При данном графике работы доплаты за работу в ночное время и праздничные дни не предусмотрены. А доплаты за вредность не учитываются в связи с высоким уровнем автоматизации, а также мероприятий по охране труда и промышленной безопасности.

$$Z_{\text{доп}} = Z_{\text{осн}} \cdot P_{\text{д.зп}}, \quad (90)$$

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

$$Z_{\text{доп}} = 1860260 \cdot 0,8 = 1488208 \text{ руб/год.}$$

Годовой фонд заработной платы основных рабочих:

$$Z = Z_{\text{тар}} + Z_{\text{доп}}, \quad (91)$$

$$Z = 1860260 + 1488208 = 3348468 \text{ руб/год.}$$



Таблица 16 – Расчет годового фонда заработной платы основных рабочих

Категория рабочих	основные	
Система оплаты труда	Повременно-премиальная	
Разряд	5	6
Тарифная ставка, руб/час	180	200
Численность списочных рабочих, чел.	2	3
Фонд рабочего времени, час	1979	
Тарифный фонд, руб/год	1860260	
Доплата премий, руб/год	1488208	
Основной фонд ЗП, руб/год	3348468	
Районный коэффициент 1,3 от ЗП, руб/год	1004540	
Налог во внебюджетные фонды 30 % от ЗП, руб/год	1305902,4	
<b>Годовой фонд заработной платы, руб/год</b>	<b>5658910,4</b>	

Часовая тарифная ставка составляет для вспомогательных рабочих 5 разряда – 130 руб/час.

$$З_{\text{тар}}^5 = 3 \cdot 1979 \cdot 130 = 771810 \text{ руб/год.}$$

$$З_{\text{доп}} = 771810 \cdot 0,8 = 617448 \text{ руб/год.}$$

Годовой фонд заработной платы вспомогательных рабочих.

$$З = 771810 + 617448 = 1389258 \text{ руб/год.}$$

Таблица 17 – Расчет годового фонда заработной платы вспомогательных рабочих

Категория рабочих	Вспомогательные
Система оплаты труда	Повременно-премиальная
Разряд	5
Тарифная ставка, руб/час	130

Продолжение таблицы 17

Численность списочных рабочих, чел.	3
Фонд рабочего времени, час	1979
Тарифный фонд, руб/год	771810
Доплата премий, руб/год	617448
Основной фонд ЗП, руб/год	1389258
Районный коэффициент 1,3 от ЗП, руб/год	416778
Отчисления во внебюджетные фонды 30 % от ЗП, руб/год	541811
<b>Годовой фонд заработной платы, руб/год</b>	<b>2347847</b>

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 ед.	Зосн, руб/год	Здоп, руб/год	Районный коэф.	Соцвзносы	Згод, руб/год
Начальник участка	1	600000	480000	324000	421200	1825200
Технолог участка	1	576000	460800	311040	404352	1752192
Уборщица	1	216000	172800	116640	151632	657072
<b>Итого</b>	<b>3</b>	<b>1392000</b>	<b>1113600</b>	<b>751680</b>	<b>977184</b>	<b>4234464</b>

Общие затраты на ЗП работникам составит:

$$\Phi_{\text{общ}} = 5658910,4 + 2347847 + 4234464 = 12241221,4 \text{ руб/год.}$$

Расходы на охрану труда и промышленную безопасность (ОТиПБ) составляют 10 % от фонда заработной платы, которые равны 1224122,14 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 м<sup>3</sup> здания, определяющаяся согласно действующим ценам на строительные материалы, его размеры и назначение.

Для участка цеха проектируется одноэтажное, однопролетное здание с длиной 24000 мм, шириной 18000 мм и высота 8400 мм. Зная эти параметры можно определить объем здания который составит 3629 м<sup>3</sup>.

Стены здания выполнены из пенобетонных плит толщиной 400 мм, высотой 3000 мм и длиной 6000 мм. Стоимость строительства производственной части здания составляет 15000 м<sup>3</sup> рублей, а стоимость вспомогательной части принимается как 50 % от стоимости производственной, что составляет 7500 рублей за 1 м<sup>3</sup>. Рассчитаем стоимость здания [52]:

$$C_{\text{зд}} = C_{\text{пр}} + C_{\text{всп}}, \quad (92)$$

где  $C_{\text{пр}}$  – стоимость производственной части;

$C_{\text{всп}}$  – стоимость вспомогательной части.

Примем, что производственная часть здания составляет 80 % от общего объема здания.

$$C_{\text{пр}} = 0,8 \cdot 3629 \cdot 15000 = 43545600 \text{ руб.}$$

$$C_{\text{всп}} = 0,2 \cdot 3629 \cdot 7500 = 5443500 \text{ руб.}$$

$$C_{зд} = 43545600 + 5443500 = 48989100 \text{ руб.}$$

Стоимость электролитической ячейки примем равную 80 % цены электролизера для получения гипохлорита натрия производительностью 5 кг/ч и составляет 280000 рублей.

Таблица 19 – Расчет стоимости оборудования

Оборудование	Количество	Цена за единицу в тыс. руб
Теплообменник	1	68
Выпрямитель тока	5	4180
Отстойник	1	625
Фильт-пресс	1	850
Емкость для электролита	1	228
Чиллер	4	244
Электролитическая батарея	21	280
Кран-балка подвесная 5т	1	176

Насосы по сравнению с основным технологическим оборудованием стоят незначительно поэтому их стоимость примем равную 1 % от стоимости оборудования 297000 рублей. Стоимость технологического оборудования составляет 30000 тысяч рублей.

Стоимость монтажных работ составляет 20 % от стоимости оборудования и составляет 6000 тысяч рублей. Тогда стоимость капитальных затрат рассчитаем по следующей формуле [53].

$$C_{кап} = C_{об} + C_{тр} + C_{мон}, \quad (93)$$

$$C_{кап} = 30000 + 6000 + 48989 = 84989 \text{ тыс. руб.}$$

В таблице 20 представлены статьи капитальных затрат и их доли.

Таблица 20 – Капиталовложения

Наименование	Капитальные затраты, тыс. руб.	%
Здание	48989	57,5
Оборудование	30000	35
Монтаж	6000	7,5
Итого	85147	100

### 6.6.3 Расходы на содержание и эксплуатацию здания

Затраты на содержание здания составляют 2 % от стоимости здания и составляют 979,8 тысячи рублей. Такое же значение примем необходимое на текущий ремонт здания 979,8 тысячи рублей.

Амортизационные отчисления на здание.

$$A_{зд} = C_{зд} \cdot \frac{1}{\alpha}, \quad (94)$$

где  $\alpha$  - срок полезного использования здания = 35 лет.

$$A_{зд} = 48989 \cdot \frac{1}{35} = 1400 \text{ тыс.руб/год.}$$

Таким образом затраты на содержание здания составляют 3359,7 тыс. руб/год.

Расходы на содержание оборудования примем равными 5 % от стоимости оборудования, которое составит 1500 тыс. руб/год.

Отчисления на амортизацию оборудования составляют 10 % от стоимости оборудования и равны 3000 тыс. руб/год

Ремонтный фонд составляет 15 % от стоимости оборудования и равен 4500 тыс. руб/год.

Сумма расходов на оборудование составит 9000 тыс. руб/год без учета монтажных работ.

## 6.6.4 Расходы на технологические и социальные нужды

Затраты на электроэнергию составляют [52]:

$$Z_{эл} = C_{эл} \cdot W \cdot T_{р.об}, \quad (95)$$

где  $C_{эл}$  – стоимость 1 кВт·ч электроэнергии, руб. (2,9 руб.);

$W$  – потребляемая мощность, кВт;

$T_{р.об}$  – время работы оборудования в год (1979 ч.).

Из расчетов, приведенных в энергетическом расчете технологической схемы затраты электроэнергии составляют 6049 кВт·ч.

$$Z_{эл} = 2,9 \cdot 6049 \cdot 1979 = 34715 \text{ тыс.руб.}$$

Затраты на освещение [52]:

$$W_{осв} = \frac{15 \cdot S_{п} \cdot M \cdot n}{1000}, \quad (96)$$

где 15 – количество Ватт на 1 м<sup>2</sup> пола;

$S_{п}$  – площадь пола, м<sup>2</sup>;

$M$  – количество часов искусственного освещения в сутки (8 ч.);

$n$  – число дней работы производства в году.

$$W_{осв} = \frac{15 \cdot 432 \cdot 8 \cdot 248}{1000} = 12856 \text{ кВт/год,}$$

$$Z_{осв} = 12856 \cdot 2,9 = 37283,3 \text{ руб/год.}$$

Затраты на вентиляцию:

В помещении установлена используется приточно-вытяжная вентиляция [52].

$$W_{в} = P_{дв} \cdot 24 \cdot n, \quad (97)$$

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

$$W_{в} = 1,1 \cdot 8 \cdot 1 = 8,8 \text{ кВт·ч.}$$

$$Z_{вент} = 8,8 \cdot 2,9 \cdot 1979 = 50504 \text{ руб/год.}$$

Затраты на ОТ и ПБ.

Затраты, направленные на охрану труда и промышленную безопасность, принимаются равными 12 % от полного годового фонда

заработной платы и составляет 1390,4 тысяч рублей в год.

Отчисления на социальные нужды.

Размер отчислений на социальные нужды составляет 30 % от полного годового фонда заработной платы и составляет 3475896 рублей в год. Расходы на отопление принимаем равными 10 % от расходов на электроэнергию, что составляет 38283 тыс. руб/год.

### 6.6.5 Калькуляция себестоимости производства

Таблица 21 – Себестоимость участка

Статьи	Ед. изм.	Сумма тыс. руб/год
Электроэнергия на тех. нужды	МВт	38283
Условно-переменные затраты		
Фонд ЗП основного и вспомогательного персонала	руб	7359
Отчисление на социальные нужды	руб	1847
Условно-постоянные затраты		
Фонд ЗП основного и вспомогательного персонала	руб	3257
Отчисление на социальные нужды	руб	977
Расходы на технику безопасности и промышленную безопасность	руб	1224
Расходы на строительство здания: 1/35	руб	1400
Расходы на оборудование: 1/10	руб	3000
Расходы на содержание и эксплуатацию оборудования:	руб	9000
Расходы на содержание и эксплуатацию здания:	руб	3360
Расходы на ОТ и ПБ	руб	1390,4
Итого себестоимость		71097,4

Исходя из этих данных можно вычислить себестоимость производства кг продукции.

$$C_{уд} = \frac{C_{себ\text{полн}}}{N}, \quad (98)$$

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

$N$  – производительность, кг.

$$C_{уд} = \frac{71097400}{100000} \approx 711 \text{ руб/кг}$$

Применение этой технологии позволяет увеличить годовую производительность производства за счет высокой производительности аппарата, что в значительной мере снизит себестоимость получаемого конечного продукта, а также приведет к уменьшению количества основных рабочих за счет автоматизации процесса. Налоги на прибыль для производств равен 32 %.

Таблица 22 – Основные технико-экономические показатели

Показатель	Ед. измерения	Значение
Годовой выпуск продукции:		
а) в натуральном выражении,	т/год	100
б) в оптовых ценах,	руб/год	90000000
в) по себестоимости	руб/год	71097400
Численность персонала		
а) основного	чел.	4
б) дополнительного	чел.	3
в) руководителей и служащих	чел.	3
Заработная плата всего персонала	руб.	11586321
Капитальные затраты:		
а) здание	руб.	48989000
б) оборудование	руб.	30000000
Себестоимость единицы продукции	руб.	715
Оптовая цена единицы продукции	руб.	1000
Чистая прибыль	руб.	12583332
Срок окупаемости капиталовложений	год	5,7



### 6.6.5 Расчет 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 [53].

Рассчитывается по формуле [53]:

$$BEP = \frac{TFC}{(P-VC)/P}, \quad (99)$$

где TFC – величина постоянных издержек;

VC – величина переменных издержек на единицу продукции;

P – стоимость единицы продукции.

Величину переменных издержек определяем по таблице 21.

$$VC = \frac{9206000}{100000} = 92.$$

$$BEP = \frac{61891400}{(900 - 92)/900} = 68938440,6 \text{ руб.}$$

## 7 Социальная ответственность

Последовательность технологических операций на разрабатываемом участке по получению медного порошка электролитическим методом состоит из нескольких стадий:

- нагревание электролита в теплообменнике до необходимой температуры в 40 °С;
- собственно получение медного порошка в электролитических ячейках с последующим отстаиванием в отстойнике;
- фильтрация медного порошка на фильтр-прессе.

Осветленный раствор со стадии фильтрации поступает в сборочную емкость, а промывные воды направляются на приготовление электролита. Далее отфильтрованный электролит отправляется на корректировку.

На каждой стадии производства медного порошка присутствуют большое количество опасных и вредных факторов. В соответствии с действующей классификацией [54] они подразделяются на физические, химические, биологические, психофизиологические. На проектируемом участке можно выделить следующие опасные и вредные факторы:

- 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.

## 7.1 Микроклимат

Для качественного осуществления работ и обеспечения нормальной жизнедеятельности работника, в помещении должны обеспечиваться соответствующие метеорологические условия, которые оказывают влияние на человека во время работы. Микроклимат – это комплекс факторов, оказывающих влияние на терморегуляцию 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 Па [55]. 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 [55]. Для категории Па допустимые и оптимальные параметры микроклимата представлены в таблице 23.

Таблица 23 – Допустимы и оптимальные параметры микроклимата [55]

Показатель		Оптимальные значения	Допустимые значения
Температура, °С	Холодный период	19-21	17-23
	Теплый период	20-22	18-27
Относительная влажность, %	Холодный период	40-60	15-75
	Теплый период	40-60	15-75
Скорость движения воздуха, м/с	Холодный период	не более 0,2	не более 0,3
	Теплый период	не более 0,2	не более 0,4

В помещениях в которых выполняются операции операторского типа, связанные с тяжелыми психоэмоциональными напряжениями предъявляются следующие требования [56]:

- температура воздуха должна поддерживаться на уровне от 21 °С 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 [57]. Кроме проведения кондиционирования необходимо обеспечить помещение приточно-вытяжной вентиляцией в целях снижения содержания в воздухе рабочей зоны вредных веществ ниже значений предельно допустимой концентрации (ПДК), и для организации комфортного проведения работ в холодное время года, необходимо обеспечить помещение системой отопления [57].

Вывод: микроклимат является одним из значимых критериев, который влияет на трудоспособность и здоровье работника, следовательно, для повышения работоспособности рекомендуется создание систем приточно-вытяжной вентиляции и кондиционирования обеспечивающих соблюдение всех нормативов микроклимата на разрабатываемом участке.

## **7.2 Шум и вибрация**

На данном участке производства медного порошка применяются такие аппараты и устройства как фильтр-пресс, источники постоянного тока, чиллеры, а также приточно-вытяжная вентиляция, во время работы которых возникает шум и вибрация. Как следствие постоянная работа этого оборудования негативно влияет на работников, находящихся в

производственном помещении и, следовательно, снижает производительность их труда.

Отличие шума и вибрации заключается в различии частот колебаний. Вибрация – это механические колебания частота колебаний, которых не более 16 колебаний в секунду [58]. Человеческое ухо как шум распознает механические колебания с частотой от 16 до 20000 колебаний в секунду. Колебания с частотой выше 20000 в секунду находятся в ультразвуковой области и органами слуха не воспринимаются [59].

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:

- 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) [60].

Вывод: влияние шума и вибрации несет общее негативное влияние на работника повышая его утомляемость и приводит к росту количества ошибок, совершаемых работником, а также способствует возникновению опасных и потенциально опасных происшествий. Для разработки мероприятий по снижению воздействия шума и вибрации на человека следует пользоваться [61–63].

### **7.3 Вредные вещества**

Техническая серная кислота – это тяжелая маслянистая жидкость без цвета и запаха с сильным медным вкусом, пожаро- и взрывобезопасна, при

соприкосновении ее с водой происходит бурная реакция с большим выделением тепла, паров и газов. Кислота серная негорюча, несовместима с органическими горючими веществами, при соприкосновении может вызвать их самовоспламенение [64]. Техническая серная кислота токсична. По степени воздействия на организм относится к веществам 2-го класса опасности – вещества высокоопасные [64]. ПДК паров серной кислоты в воздухе рабочей зоны производственных помещений –  $1 \text{ мг/м}^3$  [64]. 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.

Сульфат меди – это неорганическое соединение, медная соль серной кислоты. Нелетучее соединение, не имеет запаха в безводном виде белый порошок, очень гигроскопичный. Хорошо растворим в воде, из водных растворов кристаллизуется в виде пятиводного кристаллогидрата. Медный купорос относится к веществам 2-го класса опасности [65]. Попадая в организм человека медный купорос вызывает желудочно-кишечные расстройства. Предельно допустимая концентрация медного купороса в воздухе рабочей зоны  $0,5 \text{ мг/м}^3$  [65].

Порошок меди по степени воздействия на организм человека относится к веществам 2-го класса опасности [5]. Предельно допустимая концентрация меди в воздухе рабочей зоны  $0,5 / 1 \text{ мг/м}^3$  [5]. 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 сердечнососудистой систем, кожные заболевания [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.

Электролизеры с растворами не выделяют в окружающее пространство большое количество тепла. Кроме того, не смотря на герметизацию, в помещение могут проникать анодные газы и испарения. Кратность воздухообмена на участке должен быть равен 3 [58].

Таблица 24 – Основные свойства сырья и реагентов по токсичности

Наименование сырья, реагентов, продукции	Класс опасности	ПДК Рабочей зоны, мг/м <sup>3</sup>
Серная кислота (H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> )	2	1
Медный купорос (CuSO <sub>4</sub> ·5H <sub>2</sub> O)	2	0,5
Медный порошок	2	0,5/1

Вывод: так как на участке ведутся работы с химически активными и токсичными веществами в цехе должна быть установлена приточно-вытяжная вентиляция. Кратность воздухообмена в производственном помещении должно быть не менее 3 объемов в час. Участок, согласно [66], относится к III классу опасности. В целях снижения воздействия вредных факторов необходимо использовать СИЗ согласно [67–68].

## 7.4 Электробезопасность

Электробезопасность достигается проведением организационных и технических мероприятий.

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 и 380 В и относится к низковольтному оборудованию. Участок имеет I класс по электробезопасности до 1000 В [69].

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 мм<sup>2</sup> [70–71].

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 порошковые и углекислотные огнетушители.

При выявлении каких-либо неисправностей необходимо прекратить все работы на оборудовании и сообщить об этом руководству.

Воздействие электрического тока на организм имеет негативные последствия и очень часто заканчивается смертельным исходом. Различают электрические удары, когда током поражается весь организм человека в целом, и электротравмы, при которых происходят местные внешние поражения тела – ожоги, метки.

К электротравмам относятся ожоги тела. Они могут происходить как при прямом воздействии тока на тело, так и от искр, от вольтовой дуги при самых разнообразных условиях короткого замыкания. При этом ожог может ограничиться покраснением и образованием на ней пузырей, но иногда ожоги вызывают глубокие разрушения тканей и даже обугливание костей [70].

Своевременно оказанная медицинская помощь при поражениях организма электрическим током позволяет сохранить жизнь пострадавшему. Помощь должна быть оказана немедленно, так как малейшее промедление может привести к необратимым последствиям. При оказании первой помощи необходимо пострадавшего оторвать от токоведущей части, одновременно защищая себя от опасности контакта с токопроводами. Для этого следует надеть калоши или резиновые перчатки, встать на сухую деревянную доску, обернуть руку сухой одеждой и т.д. В первую очередь нужно выключить ток

на той части участка, к которой прикасается пострадавший, и принять соответствующие меры, чтобы человек при этом не упал [70].

При сравнительно легких поражениях, если работа сердца и органов дыхания не нарушена, но человек потерял сознание, следует пострадавшего вынести на свежий воздух, расстегнуть одежду, стесняющую дыхание, дать понюхать нашатырный спирт, растереть его тело и укрыть. Если дыхание очень редкое и судорожное или прекратилось (явление так называемой клинической смерти), то пострадавшего необходимо освободить от стесняющей его одежды, положить на спину или живот и применить искусственное дыхание [70].

При отсутствии признаков жизни – дыхания, сердцебиения, пульса – нельзя считать пострадавшего погибшим и прекращать оказание помощи до прибытия врача.

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.

Проектом предусмотрена конструкция электроустановок, соответствующая условиям их эксплуатации и обеспечивать защиту персонала от соприкосновения с токоведущими и движущимися частями. Ограждение токоведущих частей является обязательной частью конструкции электрооборудования.

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 [70].

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 [69].

Вывод: на участке электролитического получения медного порошка мероприятия по электробезопасности должны работать в комплексе с применением средств индивидуальной и коллективной защиты. Участок относится к I классу опасности, что требует особого внимания от работников при работе.

## **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. Производительность по кратности воздухообмена рассчитывается по формуле [58]:

$$L=nSH, \quad (100)$$

где  $n$  – кратность воздухообмена для помещения, для производственных помещений  $n = 3$ ;

$S$  – площадь помещения,  $\text{м}^2$ ;

$H$  – высота помещения, м.

Рассчитаем производительность по формуле:

$$L = 3 \cdot 432 \cdot 8,4 = 10400 \frac{\text{м}^3}{\text{ч}}$$

Такую производительность обеспечивает вентилятор марки ВО 06–300–4 с производительностью до  $10500 \text{ м}^3/\text{час}$ , с электродвигателем мощностью  $1,1 \text{ кВт}$  [72].

Вывод: для организации качественного воздухообмена в помещении в котором организован процесс получения медного порошка необходима приточно-вытяжная вентиляция с воздухообменом  $10400 \text{ м}^3/\text{ч}$ . Для этого подходит вентилятор ВО 06–300–4.

## 7.6 Освещение

В производственных помещениях применяется три разных вида освещения [73]: 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  $300 \text{ лк}$  [74]. Площадь участка составляет  $432 \text{ м}^2$ , длина  $24 \text{ м}$ , ширина  $18 \text{ м}$ , высота  $8,4 \text{ м}$ .

Число светильников для цеха определяется по формуле:

$$n = \frac{E \cdot S \cdot Z \cdot K}{F \cdot U \cdot m}, \quad (101)$$

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

$S$  – площадь помещения,  $S = 300$  м<sup>2</sup>;

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

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

$F$  – световой поток одной лампы, ЛД 40,  $F = 2130$  лм;

$U$  – коэффициент использования,  $U = 0,55$ ;

$m$  – число ламп в светильнике,  $m = 2$ .

$$n = \frac{432 \cdot 300 \cdot 1,2 \cdot 1,2}{2130 \cdot 0,55 \cdot 2} = 79,65.$$

Расчетное количество ламп ЛД 40 составило 80 штук. Высота подвеса светильников должна быть не меньше 1 м [74].

## 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 [75]. Исследованиями установлено, что основными и

наиболее частыми причинами загораний, пожаров и взрывов на предприятиях химической промышленности являются:

- 1) нарушение элементарных правил пожарной безопасности;
- 2) нарушение режима технологических процессов;
- 3) неисправность электрооборудования, электросетей;
- 4) нарушение электротехнических правил;
- 5) 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 [58].

Категорирование основано согласно [76]. 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 [76]. 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 [77];
- 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 норм противопожарной охраны. Запрещается пользоваться противопожарным инвентарем для других целей [77].

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 [78].

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 [75].

Вывод: помещение в котором проходит производственный процесс относится к классу В (пожароопасное) [77], так как помещению 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"> <li>– проверять состояние электротехнических устройств и отопительных приборов;</li> <li>– соблюдение технологического регламента;</li> <li>– соблюдать правила пожарной безопасности согласно требованиям нормативной документации;</li> <li>– проводить обучение и инструктаж работников, отрабатывать навыки пожаротушения.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– при возникновении пожара звонить 01,101,112;</li> <li>– в качестве средств тушения использовать порошковые и углекислотные огнетушители.</li> </ul>
2	Аварии с выбросом химических веществ	<ul style="list-style-type: none"> <li>– автоматизация процесса;</li> <li>– соблюдение технологического регламента;</li> <li>– проверка герметичности оборудования;</li> <li>– проведение осмотров и ППР;</li> <li>– проводить обучение и инструктаж работников.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– эвакуация рабочего персонала;</li> <li>– санитарная обработка и нейтрализация химических веществ.</li> </ul>



## Продолжение таблицы 25

3	Аварии с электроустановками	<ul style="list-style-type: none"> <li>– не допускать повреждения изоляции токоведущих частей электрических установок;</li> <li>– проводить плановые ревизии, обходы и ППР;</li> <li>– соблюдать допустимое расстояние между изоляторами и проводами;</li> <li>– выполнять правила техники безопасности и технической эксплуатации;</li> <li>– проводить обучение и инструктаж работников;</li> <li>– установить защитное заземление.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– отключить напряжение на поврежденной установке;</li> <li>– отгородить место, поставить знаки;</li> <li>– при наличии пострадавших оказать первую помощь и вызвать скорую помощь по телефонам 112, 103.</li> </ul>
---	-----------------------------	--	--

### 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) [77];
- по электробезопасности – к I классу опасности до 1000 В [71];
- по вредным веществам – к II классу опасности [5,64 – 65].

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, нужно соблюдать технологических процесс, выполнять правила техники безопасности и технической эксплуатации оборудования, своевременно проводить инструктажи, обучение, своевременно проводить ППР.

## **8 Автоматизация процесса**

Система автоматизации предназначена для осуществления функции контроля и регулирования параметров технологического процесса электролитического получения медного порошка [79].

### **8.1 Описание технологической схемы**

Аппаратурно-технологическая схема участка цеха по получению медного порошка представлена в приложении. Основными аппаратами являются электролитические ячейки, собранные в электролитические батареи (ЭлБ) по 7 штук в каждой. Электролит в которые поступает тангенциально в нижнюю часть аппарата, что позволяет организовать закручивающийся восходящий поток. Процесс является полунепрерывным.

Электролит поступает с участка производства медных пластин и плит электроэкстракцией после достижения определенной концентрации отправляется на корректировку. На этом этапе часть электролита электролита отводится на наш участок и попадает в теплообменник для восполнения температурных потерь во время транспортировки электролита. Далее электролит поступает в электролитические ячейки. Электролит через ячейки проходит в двух режимах, при 4 и 10 м<sup>3</sup>/ч. При расход 4 м<sup>3</sup>/ч протекает процесс осаждения осадка на катоде, а 10 м<sup>3</sup>/ч расход необходимый для снятия осадка. Для этого на участке цеха находятся два насоса (Н–1) и (Н–2) для создания таких расходов. Для подвода электроэнергии к электролитическим ячейкам используется источник тока (ИТ). Далее электролит с порошком поступает в сборочную емкость (Е–1) разделенная на два отсека в которой проходит отстаивание осадка, а также удаления газов и испарений являющихся побочными продуктами процесса. Также из этой емкости электролит после отстаивания отправляется на корректировку. Осадок меди отправляется на фильтрацию в фильтр-пресс (ФП). Далее осадок в фильтр-прессе (ФП)

промывается водой и далее после фильтрации вода содержащая остаточное количество меди отправляется на приготовление электролита.

После прохождения через фильтр-пресс (ФП) осадок отправляется на сушку, а отфильтрованный электролит самотеком попадает в сборочную емкость (Е-2) в которой при достижении определенного уровня электролита, она опорожняется с помощью насоса (Н-3), а электролит отправляется на корректировку.

## **8.2 Описание функциональной схемы автоматизации**

Раствор электролита поступает в теплообменник (Т), температура электролита на входе регистрируется датчиком 28. На выходе из теплообменника температура электролита 40 °С регистрируется датчиком 1 и при необходимости регулируется краном 1'. Регистрация и регулирование напряжения в электролитических ячейках происходит датчиком 3. Сила тока, подаваемая на ячейки регулируется, регистрируется, а также при всех отклонениях от заданного режима сигнализируется с помощью датчика 2. Датчик 4 производит индикацию и регистрацию значений расхода электролита и производит регулирование режима работы с помощью кранов 2' и 3' в зависимости от устанавливаемого режима, который включается по средствам таймеров. Так, при проведении процесса осаждения порошка краны 3' переводятся в открытое положение, а кран 5' в закрытое и электролит поступает в электролитические ячейки с расходом 84 м<sup>3</sup>/ч. По истечению 15 минут с помощью таймера датчик 4 подает сигнал и краны 3' закрываются, а кран 5' открывается для обеспечения циркуляции электролита в замкнутом контуре для недопущения повреждения насоса (Н – 1), в это время открываются краны 2', а кран 4' закрывается и расход электролита увеличивается до 200 м<sup>3</sup>/ч длительность поддержания данного значения расхода регулируется таймером который установлен на 5 минут. После

истечения этого времени датчик 4 подает сигнал и происходит закрытие кранов 2' с одновременным открытием крана 4' и открытием кранов 3' и так далее по циклу. Во время поступления электролита в электролитические ячейки происходит регистрация и индикация его давление на входе электролита с помощью датчиков 5 – 11 на схеме автоматизации представлена одна электролитическая батарея, состоящая из 7 электролитических ячеек. Технологическая линия состоит из трех таких батарей (ЭлБ), следовательно, датчики давления устанавливаются на вход каждой электролитической ячейки. На выходе из электролитических ячеек также установленные датчики давление 12 – 18, которые настроены на индикацию, регистрацию, сигнализацию и блокировку. в случае если давление на выходе в какой-либо из ячеек начинает снижаться в ходе засорения, то один из датчиков давления 12 – 18 посылает сигнал, и неисправная электролитическая ячейка блокируется с помощью вентиля 6' – 12', которые перекрываются тем самым прекращая поступление электролита. По данным датчика расхода 19, который производит индикацию, регистрацию и регулирование с учетом данных датчика 4 вентилем 13' производится выравнивание входящего и исходящего потоков электролитических ячеек. Индикация, регистрация температуры электролита на выходе из электролитической батареи производится датчиком 29, также он производит индикацию значения температуры. Датчик уровня 20 производит индикацию, регистрацию и регулирование верхнего уровня электролита в емкости 1 (Е – 1). Регулирование производится с помощью вентиля 14'. Датчик нижнего уровня 21 производит индикацию, регистрацию нижнего уровня электролита в емкости (Е – 1). При накоплении определенной массы осадка в емкости 1 тензометрический датчик 22 с помощью вентиля 15' производит удаление образовавшегося порошка из емкости 1. Далее осадок с электролитом попадает в фильтр-пресс (ФП) в котором производится процесс фильтрования и промывки осадка. Датчики 26 и 27 производят индикацию и регистрацию давления пульпы на входе в фильтр-пресс и давление фильтрата на выходе из фильтр-пресса. Далее отфильтрованный осадок промывается

водой расход воды для процесса промывки проводится датчиком 23, который обладает функциями индикации, регистрации и регулирования. Регулирование расхода производится с помощью вентиля 16'. После промывки медный порошок отправляется на дальнейшую обработку, а промывная вода, содержащая остатки электролита отправляется на приготовление свежего электролита. Далее фильтрат попадает в сборочную емкость 2 (Е – 2) нижний уровень электролита в которой регулируется датчиком 24 с функциями индикации и регистрации. Верхний уровень в емкости 2 регулируется, регистрируется, а также производится его индикация. Регулирование производится с помощью вентиля 17'.

### **8.3 Перечень технологических параметров, подлежащих индикации, регулированию, сигнализации**

Индикации и регистрации подлежат:

1. Температура электролита на входе и выходе в теплообменник (Т);
2. Сила тока, подаваемая на электролитические батареи (ЭБ);
3. Напряжение, подаваемое на электролитические батареи (ЭБ);
4. Расход электролита в распределительной трубе;
5. Давление на входе и выходе из электролитических ячеек, составляющих электролитическую батарею;
6. Расход электролита общей трубе отвода электролита;
7. Верхний уровень электролита в отстойнике (Е – 1);
8. Нижний уровень электролита в отстойнике (Е – 1);
9. Масса осажденного в отстойнике осадка (Е – 1);
10. Расход промывной воды;
11. Нижний уровень отфильтрованного электролита в сборочной емкости (Е – 2);
12. Давление на входе и выходе фильтр прессы (ФП);

13. Температура электролита на выходе из электролитической батареи (ЭлБ).

Регулировке подлежат следующие параметры:

1. Температура на выходе из теплообменника (Т);
2. Сила тока, подаваемая на электролитические батареи (ЭлБ);
3. Напряжение, подаваемое на электролитические батареи (ЭлБ);
4. Верхний уровень электролита в отстойнике (Е – 1);
5. Масса осажденного порошка в отстойнике (Е – 1);
6. Расход воды для промывки порошка после фильтрования на фильтр-прессе (ФП);
7. Нижний уровень отфильтрованного электролита в сборочной емкости (Е – 2).

Параметры подлежащие сигнализации:

1. Сила тока, подаваемая на электролитические батареи (ЭлБ);
2. Расход электролита на выходе электролита из электролитических батарей (ЭлБ);
3. Давление электролита на выходе из электролитических ячеек, входящих в состав электролитических батарей (ЭлБ);
4. Верхний уровень электролита в отстойнике (Е – 1);
5. Температура электролита на выходе из электролитических батарей (ЭлБ).

#### **8.4 Перечень первичных преобразователей**

Для контроля параметров процесса электролитического получения медного порошка были выбраны следующие контрольно-измерительные приборы, которые представлены ниже.

Расходомеры установлены на входе и выходе электролита в электролитические батареи, а также на подводе промывной воды.

Таблица 26 – Технические характеристики расходомера [81]

Производитель	ЭМИС
Название	ЭМИС-МАГ 270
Принцип работы	Электромагнитный
Диапазон рабочих температур, °С	От – 40 до 130
Степень защиты	IP65
Диапазон измерений	От 0,11 до 11,3 м <sup>3</sup> /ч
Погрешность, %	До ±0,5

Термодатчики установлены на входе и выходе электролита в теплообменник, а также на его выходе из электролитических батарей.

Таблица 27 – Технические характеристики термодатчика

Производитель	Thermokon Sensortechnik
Название	TF14 passive
Тип датчика	Кабельный
Диапазон рабочих температур, °С	От -35 до 150
Степень защиты	IP65
Точность, %	±1

Для измерения показаний давления на входе и выходе электролита в электролитические ячейки, а также на входе пульпы и выходе фильтрата в фильтр-прессе.

Таблица 28 – Технические характеристики датчиков давления [81]

Производитель	МераПрибор
Название	МПД-01
Тип измеряемого давления	Абсолютное/ избыточное



Продолжение таблицы 28

Диапазон рабочих температур, °С	От –20 до 85
Степень защиты	IP65
Диапазон измерений, бар	От 0,35 до 1000
Погрешность, %	До ±0,5

Тензодатчик необходим для определения массы осажденного порошка.

Таблица 29 – Технические характеристики тензодатчика

Производитель	Keli
Название	YBS – M
Диапазон рабочих температур, °С	От –30 до 70
Степень защиты	IP68
Диапазон измерений, тонн	От 0,1 до 10
Погрешность, %	До ±0,5

Датчики уровня расположены в отстойнике и в сборочной емкости. Они регистрируют и регулируют верхний и нижний уровень электролита в емкостях.

Таблица 30 – Технические характеристики датчиков уровня [82]

Производитель	РИЗУР
Название	РИЗУР-М-В
Тип датчика	Поплавковый
Диапазон рабочих температур, °С	От -60 до 150
Диапазон давлений, МПа	От 1,6 до 16
Степень защиты	IP67
Погрешность, мм	До 2

## 9 Заключение

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

1 представлена принципиальная технологическая схема получения медного порошка электролитическим методом;

2 предложено аппаратное оформление представленной технологической схемы;

3 произведен расчет материального и теплового баланса основных стадий технологической схемы, по результатам расчетов они сошлись;

4 рассчитан и сконструирован основной аппарат технологической схемы – электролитическая ячейка, габаритные размеры которой: высота 2024 мм, ширина 460 мм, длина 538 мм.;

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

6 рассчитаны основные технико-экономические показатели проекта, подтверждающие эффективность и перспективность проекта себестоимость одного килограмма медного порошка равна 711 рублей, точка безубыточности равна 68938440,6 рублей;

7 рассмотрены социальная ответственность и способы осуществления безопасного ведения работ, а также показатели среды на участке;

8 разработана функциональная схема автоматизации технологического участка. Автоматизация является одним из основных преимуществ разрабатываемого проекта обеспечивающая и упрощающее управление процессом, облегчающая труд, а также снижающая численность персонала.

## Список использованных источников

1. 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.
2. 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.
3. Janice, L.J. The U.S. Copper-base Scrap Industry and its By-products / Copper Development Association Inc.: New York, 2013. – 100 p.
4. Волков, А. И. Большой химический справочник / А.И. Волков, И.М. Жарский. – Минск: Современная школа, 2005. – 608 с.
5. ГОСТ 4960-2017. Порошок медный электролитический. – М.: Стандартинформ, 2009. – 23 с.
6. Номберг М. И. Производство медного порошка электролитическим способом. – Москва: Metallurgy, 1971. – 134 с.
7. Electrowinning using fluidized bed apparatus: United States Patent № 4240886; filed 16.02.1979; publ. 23.12.1980,– 14 p.
8. Способ получения медного порошка электролизом из сульфатных растворов и устройством для его осуществления: патент Рос. Федерация № 2022717; заявл. 03.07.1991; опубл. 15.11.1994,– 6 с.
9. Проточный электролизер:патент Рос. Федерация № 2286404; заявл. 22.03.2005; опубл. 27.10.2006, бюл. № 30 – 4 с.
10. Способ изготовления медной ленты электролизом:патент Рос. Федерация № 2318081; заявл. 19.12.2005; опубл. 27.02.2008, бюл. № 6 – 5 с.
11. Электролизер для получения металлической ленты:патент Рос. Федерация № 119343; заявл. 27.04.2012; опубл. 20.08.2012, бюл. № 23 – 5 с.

12. Pedro H.Britto-Costa. Copper electrowinning using a pulsed bed three-dimensional electrode / Pedro H.Britto-Costa, EdenirR.Pereira-Filho, Luis A.M.Ruotolo // Hydrometallurgy. – 2014. –Vol. 144 – 145. – P. 15 – 22.

13. Anode structure for copper electrowinning: United States Patent № 8372254; filed 29.09.2011; publ. 12.02.2013, –22 p.

14. 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, –11 p.

15. Electrowinning metals: United States Patent № 4039403; filed 26.02.1976; publ. 2.08.1977, – 6 p.

16. Electrowinning cell with bagged anode: United States Patent № 4201653; filed 27.07.1978; publ. 06.05.1980, – 6 p.

17. System and method for producing copper powder by electrowinning using the ferrous-ferric anode reaction: United States Patent № 7494580; filed 14.07.2005; publ. 24.02.2009, – 22 p.

18. Method of producing metal powder: United States Patent № 4028199; filed 30.07.1975; publ. 07.07.1977, –15 p.

19. F.M. Doyle, Electrochemistry in mineral and metal processing / F.M. Doyle // Proceedings of the international symposium / F.M. Doyle, G.H. Kelsall, R. Woods. – New Jarsey, 2003. – Vol. 18. – P. 367–370.

20. K.C. Solo, Recovery of copper from Chilean mine waste waters / K.C. Solo // Proceedings IMWA / K.C. Solo, A. Prinsloo, E. Hardwick. – Freiberg, 2016. – P. 1295–1302.

21. L. Hermida, Application of Taguchi optimization of electro metal – electro winning (EMEW) for nickel metal from laterite / L. Hermida //AIP conference Proceedings / L. Hermida, A. Junaedi, F.A. Puta. – New York, 2017. – Vol. 1904. – P. 020004-1– 020004-6.

22. J. Robinson, High current density electrowinning of nickel in emew cells / J. Robinson // Proceedings of symposium sponsored by the TMS Extraction & Processing Division, TMS High Temperature Alloys Committee, and the

Metallurgy and Materials Society of the Canadian Institute of Mining, Metallurgy and Petroleum / J. Robinson, I. Ewart, M. Moats, S. Wang. – San Antonio.– 2013. – P. 191 – 199.

23. Антропов Л. И. Теоретическая электрохимия. Изд.2-е, переработ. и доп. Учебник университетов и хим.– технологич. специальностей вузов. М., «Высшая школа», 1969. – 512 с.

24. Стромберг А. Г. Физическая химия: Учеб. для хим. спец. вузов / А. Г. Стромберг, Д. П. Семченко; Под. ред. А. Г. Стромберга. – 7-е изд., стер. – М.: Высш. шк., 2009. – 527 с.

25. Кантаев А.С., Определение удельной поверхности порошкообразных материалов: методические указания к выполнению лабораторных работ по курсу «Оборудование производств редких элементов» / Кантаев А.С., Брус И.Д., Ворошилов Ф.А.; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2012. – 16 с.

26. Производственный календарь на 2020 [Электронный ресурс] / Информационный портал. – URL: <http://www.consultant.ru/law/ref/calendar/proizvodstvennyye/2020/>, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус. Дата обращения: 02.11.2019.

27. Ящура А.И. Система технического обслуживания и ремонта оборудования и ремонта оборудования химической промышленности: справочник. М.: ЭНАС, 2012. – 448 с.

28. Рабинович В.А. Краткий химический справочник / В.А. Рабинович, З.Я. Хавин. – Ленинград: Химия, 1991.

29. Лашинский А.А. Основы конструирования и расчета химической аппаратуры / Лашинский А.А., Толчиский А. Р., Л., «Машиностроение», 1970 г., –752 с.

30. Павлов К. Ф., Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии. Учебное пособие для вузов. / Павлов К. Ф.,

Романков П. Г., Носков А. А. – 10-е издание перераб. и доп. – Л.: Химия, 1987. – 576 с.

31. Расчеты по процессам и аппаратам химической технологии / Флореа О., Смигельский О. – Москва: «Химия», 1971 г. – 168 с.

32. Основные процессы и аппараты химической технологии / Касаткин А. Г. – Москва: «Госхимиздат», 1961 г. – 832 с.

33. Н.Н. Федотьев. Прикладная электрохимия. / Н.Н. Федотьев, А.Ф. Алабышев, А. Л. Ротинян, П.М. Вячеславов, П.Б. Животинский, А.А. Гальнбек. – Л.: Госхимиздат, 1962 г. – 642 с.

34. Электролиз в гидрометаллургии / Ю.В. Баймаков, А.И. Журин. – Москва «Металлургиздат», 1963 г. – 608 с.

35. Электродные материалы в прикладной электрохимии / Л.М. Якименко – Москва: «Химия», 1977 г. – 263 с.

36. Процессы и аппараты химической технологии / А.Н. Плановский, В.М. Рамм, С.З. Каган. – Москва: Химия, 1968. – 847 с

37. MasoBravo [Электронный ресурс] / Насос IML Atlas AT0550 – 2019. – URL: <https://www.marcobravo.ru/nasos-s-prefiltrom-impl-atlas-at0550/>, доступ свободный. – Яз. рус. Дата обращения 04.12.2019.

38. Гидравлик–М [Электронный ресурс] / Химический насос ЦНСк 200–100 – 2019. – URL: <http://gidravlik-m.com/promyshlennye-nasosy/nasos-cnsk-200-100-cns-200-100.html/>, доступ свободный. – Яз. рус. Дата обращения 04.12.2019.

39. Русэлком. Электротехническая компания [Электронный ресурс] / XGM050 теплообменник Ридан – 2019. – URL: <https://www.ruselkom.ru/teploobmenniki/xgm050-teploobmennik-ridan/>, доступ свободный. – Яз. рус. Дата обращения 04.12.2019.

40. Электропроект [Электронный ресурс] / Выпрямители для электротехнологии – 2019. – URL: <http://www.elp.ru/digest/Vypryamiteli-regulatory-preobrazovateli-poluprovodnikovye/Vypryamiteli-poluprovodnikovye-vypryamiteli-toka-vypryamiteli-napryazheniya/Vypryamiteli->

dlya-galvaniki-elektrotehnologii-elektrohimii-elektrotermii/Vypryamiteli-dlya-elektrotehnologii-TE1-TER1-TV1-TVR1/, доступ свободный. – Яз. рус. Дата обращения 04.12.2019.

41. Alibaba.com [Электронный ресурс] / Оборудование резервуара для сточных вод PENGKAI для очистки сточных вод – 2019. – URL: [https://russian.alibaba.com/product-detail/pengkai-vertical-flow-wastewater-sedimentation-tank-equipment-for-sewage-treatment-1815875337.html?spm=a2700.md\\_ru\\_RU.maylikeexp.9.517e269avpPHir/](https://russian.alibaba.com/product-detail/pengkai-vertical-flow-wastewater-sedimentation-tank-equipment-for-sewage-treatment-1815875337.html?spm=a2700.md_ru_RU.maylikeexp.9.517e269avpPHir/), доступ свободный. – Яз. рус. Дата обращения 05.12.2019.

42. ЗАО «Мембраны» [Электронный ресурс] / Фильтр-прессы – 2019. – URL: [http://www.membrany.ru/f\\_p.html/](http://www.membrany.ru/f_p.html/), доступ свободный. – Яз. рус. Дата обращения 05.12.2019.

43. ООО «Мировое оборудование» [Электронный ресурс] / Чиллер FKL-5HP – 2019. – URL: <https://ok-stanok.ru/shop/04277-chiller/>, доступ свободный. – Яз. рус. Дата обращения 05.12.2019.

44. НПБ 105-03 Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности [Электронный ресурс] / Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности – URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200032102/>, доступ свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус. Дата обращения: 16.12.2019.

45. 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: 16.12.2019.

46. О.Г. Денисов Основания и фундаменты промышленных и гражданских зданий: тематический план издательства «Высшая школа», 1968. – 369с.

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

48. ГОСТ 25628.3-2016 Колонны железобетонные крановые для одноэтажных зданий предприятий – М.: Стандартинформ, 2016. – 24 с.

49. Строй-справка [Электронный ресурс]: Отопление, водоснабжение, канализация. – 2019. – URL: <http://stroy-spravka.ru>, доступ свободный. – Яз. рус. Дата обращения 17.12.2019.

50. ГОСТ 31174-2017 Ворота металлические. Общие технические условия – М.: Стандартинформ, 2018. – 50 с.

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

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

53. 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.

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

55. 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.



56. ГОСТ 12.1.005-2008 Система стандартов безопасности труда. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны. – М.: Стандартинформ, 2008. – 15 с.
57. 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.
58. Безопасность жизнедеятельности: учебное пособие для вузов / О. Н. Русак, К. Р. Малаян, Н. Г. Занько. – 8-е изд., стер.. – СПб.: Лань Омега-Л, 2005. – 448 с.
59. Шум и вибрация [Электронный курс]. URL: <https://mirznanii.com>, – Загл. с экрана. – Яз.рус. Дата обращения: 24.11.2019 г.
60. ГОСТ 12.1.003-2014 Система стандартов безопасности труда. Шум. Общие требования безопасности. – М.: Стандартинформ, 2015. – 12 с.
61. ГОСТ 12.1.029-2001 Система стандартов безопасности труда. Средства и методы защиты от шума. Классификация. – М.: Издательство стандартов, 2001. – 5 с.
62. 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.
63. 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.
64. ГОСТ 2184-2013. Кислота серная техническая. – М.: Стандартинформ, 2013. – 55 с.
65. ГОСТ 19347-2014. Купорос медный. Технические условия. – М.: Стандартинформ, 2013. – 54 с.
66. Требования к ведению государственного реестра опасных производственных объектов [Электронный курс]. URL: <http://docs.cntd.ru>, Загл.с экрана. – Яз.рус. Дата обращения: 24.11.2019 г.

67. ГОСТ 12.4.299-2015 Система стандартов безопасности труда. Средства индивидуальной защиты органов дыхания. Рекомендации по выбору, применению и техническому обслуживанию. – М.:Стандартинформ, 2016.

68. ГОСТ 12.4.253-2013 Система стандартов безопасности труда. Средства индивидуальной защиты глаз. Общие технические требования. – М.: Стандартинформ, 2013.

69. ГОСТ Р 12.1.019-2009 Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты. – М.: Стандартинформ, 2010. – 10 с.

70. Елгазин В.И. Электробезопасность: учебное пособие / В. И. Елгазин; Томский политехнический институт (ТПИ). – Томск: Изд-во ТГУ, 1967. – 82 с.

71. Манойлов В.Е. Основы электробезопасности / В. Е. Манойлов. – 4-е изд., перераб. и доп. – Ленинград: Энергоатомиздат, 1985. – 384 с

72. Технические характеристики вентилятора [Электронный ресурс] / Вентиляторы ВО 06-300 осевые. – URL: [https://www.inklimat.ru/catalog/vent/ventilyatory/ventilyator/vo\\_06-300](https://www.inklimat.ru/catalog/vent/ventilyatory/ventilyator/vo_06-300) //, доступ свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус. Дата обращения: 07.12.2019.

73. Освещение производственных помещений [Электронный курс]. URL: <https://studfile.net>, – Загл.с экрана. – Яз.рус. Дата обращения: 05.11.2019 г.

74. 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.

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

76. 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: 05.11.2019 г.

77. 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.

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

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

80. ЭМИС [Электронный курс] / Информационный портал. – URL: <https://emis-kip.ru/ru>, свободный. – Загл.с экрана. – Яз.рус. Дата обращения: 14.05.2019

81. МЕРАПРИБОР [Электронный курс] / Информационный портал. – URL: <http://merapribor.ru>, свободный. – Загл.с экрана. – Яз.рус. Дата обращения: 14.05.2019

82. РИЗУР [Электронный курс] / Информационный портал. – URL: <https://rizur.ru>, свободный. – Загл.с экрана. – Яз.рус. Дата обращения: 14.05.2019

## Приложение А (рекомендуемое)

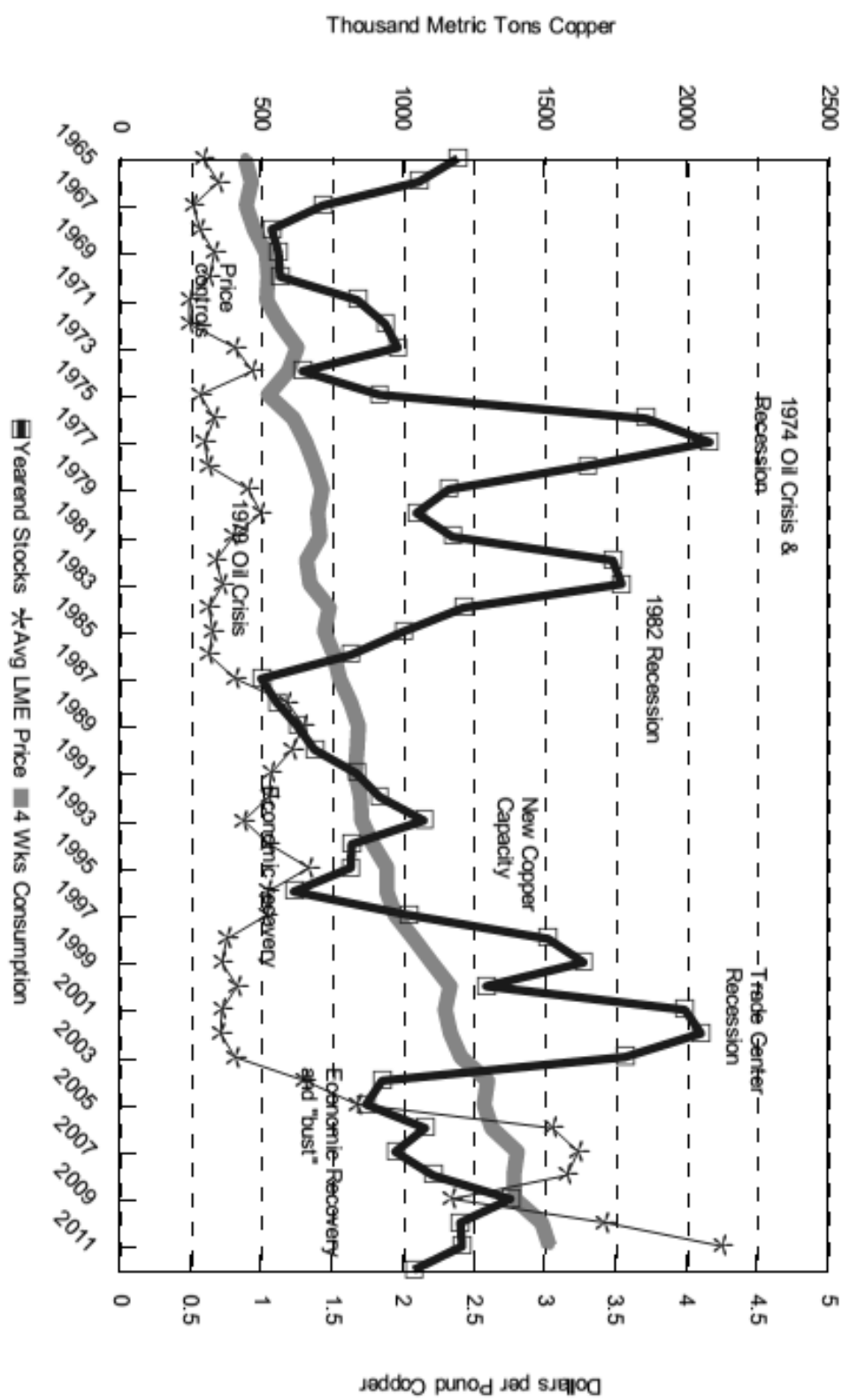


Рисунок А.1 – Мировой уровень потребления меди и ее цена

**Приложение Б**  
(рекомендуемое)

Таблица Б.1 – Гранулометрический состав и насыпная масса медного порошка разных марок

Марка	Максимальный размер частиц, мкм	Состав	Насыпная масса, г/см <sup>3</sup>
ПМС-В	224	0,1 % $\geq 224$ мкм 0,1 % $< 224 \geq 140$ мкм 5–15 % $< 140 \geq 100$ мкм 35–45 % $< 100 \geq 63$ мкм 25–35 % $< 63 \geq 45$ мкм 10–25 % $< 45$ мкм	2,4–2,7
ПМС-К	450	90–100 % $< 450$ мкм 10 % $< 180$ мкм	2,5–3,5
ПМС-Н	224	95–100 % $< 224$ мкм	2,5–3,5
ПМС-1	100	99,5–100 % $< 100$ мкм 90–100% $< 71$ мкм 65–80 % $< 45$ мкм	1,25–2,0
ПМС-А	100	99,5–100 % $< 100$ мкм 90–100 % $< 71$ мкм 73–80 % $< 45$ мкм	1,3–1,5
ПМС-11	100	95–100 % $< 63$ мкм	1,25–1,9

# Приложение В (рекомендуемое)

## I КВАРТАЛ

Январь							Февраль							Март						
пн	вт	ср	чт	пт	сб	вс	пн	вт	ср	чт	пт	сб	вс	пн	вт	ср	чт	пт	сб	вс
		1	2	3	4	5						1	2							1
6	7	8	9	10	11	12	3	4	5	6	7	8	9	2	3	4	5	6	7	8
13	14	15	16	17	18	19	10	11	12	13	14	15	16	9	10	11	12	13	14	15
20	21	22	23	24	25	26	17	18	19	20	21	22	23	16	17	18	19	20	21	22
27	28	29	30	31			24	25	26	27	28	29		23	24	25	26	27	28	29
														30	31					

Количество дней				
календарных	91	31	29	31
рабочих	57	17	19	21
выходных/праздничных	34	14	10	10
Рабочее время (в часах)				
при 40-часовой неделе	456	136	152	168
при 35-часовой неделе	410,4	122,4	136,8	151,2
при 24-часовой неделе	273,6	81,6	91,2	100,8

## II КВАРТАЛ

Апрель							Май							Июнь						
пн	вт	ср	чт	пт	сб	вс	пн	вт	ср	чт	пт	сб	вс	пн	вт	ср	чт	пт	сб	вс
		1	2	3	4	5					1	2	3	1	2	3	4	5	6	7
6	7	8	9	10	11	12	4	5	6	7	8*	9	10	8	9	10	11*	12	13	14
13	14	15	16	17	18	19	11	12	13	14	15	16	17	15	16	17	18	19	20	21
20	21	22	23	24	25	26	18	19	20	21	22	23	24	22	23	24	25	26	27	28
27	28	29	30*				25	26	27	28	29	30	31	29	30					

Количество дней				
календарных	91	30	31	30
рабочих	60	22	17	21
выходных/праздничных	31	8	14	9
Рабочее время (в часах)				
при 40-часовой неделе	477	175	135	167
при 35-часовой неделе	429	157,4	121,4	150,2
при 24-часовой неделе	285	104,6	80,6	99,8

## III КВАРТАЛ

Июль							Август							Сентябрь						
пн	вт	ср	чт	пт	сб	вс	пн	вт	ср	чт	пт	сб	вс	пн	вт	ср	чт	пт	сб	вс
		1	2	3	4	5						1	2							
6	7	8	9	10	11	12	3	4	5	6	7	8	9	7	8	9	10	11	12	13
13	14	15	16	17	18	19	10	11	12	13	14	15	16	14	15	16	17	18	19	20
20	21	22	23	24	25	26	17	18	19	20	21	22	23	21	22	23	24	25	26	27
27	28	29	30	31			24	25	26	27	28	29	30	28	29	30				
							31													

Количество дней				
календарных	92	31	31	30
рабочих	66	23	21	22
выходных/праздничных	26	8	10	8
Рабочее время (в часах)				
при 40-часовой неделе	528	184	168	176
при 35-часовой неделе	475,2	165,6	151,2	158,4
при 24-часовой неделе	316,8	110,4	100,8	105,6

## IV КВАРТАЛ

Октябрь							Ноябрь							Декабрь						
пн	вт	ср	чт	пт	сб	вс	пн	вт	ср	чт	пт	сб	вс	пн	вт	ср	чт	пт	сб	вс
			1	2	3	4							1		1	2	3	4	5	6
5	6	7	8	9	10	11	2	3*	4	5	6	7	8	7	8	9	10	11	12	13
12	13	14	15	16	17	18	9	10	11	12	13	14	15	14	15	16	17	18	19	20
19	20	21	22	23	24	25	16	17	18	19	20	21	22	21	22	23	24	25	26	27
26	27	28	29	30	31		23	24	25	26	27	28	29	28	29	30	31*			
							30													

Количество дней				
календарных	92	31	30	31
рабочих	65	22	20	23
выходных/праздничных	27	9	10	8
Рабочее время (в часах)				
при 40-часовой неделе	518	176	159	183
при 35-часовой неделе	466	158,4	143	164,6
при 24-часовой неделе	310	105,6	95	109,4

\* Предпраздничные дни, в которые продолжительность работы сокращается на один час.

Рисунок В.1 – Производственный календарь

**Приложение Г**  
(рекомендуемое)

Таблица Г.1 – Электрохимические эквиваленты

<b>Металл</b>	<b>Валентность</b>	<b>Атомная масса</b>	<b>Электрохимический эквивалент, г/А·ч</b>
Алюминий	3	26,98	0,3356
Железо	2	55,85	1,0424
Золото	1	197,00	7,3610
Кобальт	2	58,93	1,1000
Мышьяк	3	74,92	0,9321
Медь	2	63,54	1,1864
Медь	1	63,54	2,3729
Никель	2	58,71	1,0954
Олово	2	118,69	2,2154
Свинец	2	207,19	3,8673
Серебро	1	107,87	4,0269
Водород	1	1,01	0,0376
Кислород	2	15,99	0,2980