

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

Школа Инженерная школа ядерных технологий
 Специальность 18.05.02 Химическая технология материалов современной энергетики
 Отделение школы (НОЦ) Ядерно-топливного цикла

ДИПЛОМНЫЙ ПРОЕКТ

Тема работы
Проект участка для непрерывного получения медной фольги производительностью 80 тонн в год

УДК 621.771.23:669.3

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0452	Свиридов Сергей Анатольевич		

Руководитель ВКР

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

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

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

По разделу «Социальная ответственность»

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

По разделу «Автоматизация процесса»

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

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

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

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

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
<i>Профессиональные компетенции</i>	
Р1	Демонстрировать глубокие естественнонаучные, математические и инженерные знания и детальное понимание научных принципов профессиональной деятельности
Р2	Ставить и решать инновационные задачи, связанные с получением и переработкой материалов и изделий ядерного топливного цикла, с использованием моделирования объектов и процессов химической технологии материалов современной энергетики
Р3	Эксплуатировать и совершенствовать действующие, разрабатывать и внедрять новые современные высокотехнологичные процессы и линии автоматизированного производства, обеспечивать их высокую эффективность, контролировать расходование сырья, материалов, энергетических затрат
Р4	Обеспечивать радиационную безопасность, соблюдать правила охраны здоровья и труда при проведении работ, выполнять требования по защите окружающей среды; оценивать радиационную обстановку; осуществлять контроль за сбором, хранением и переработкой радиоактивных отходов различного уровня активности с использованием передовых методов обращения с РАО
Р5	Уметь планировать и проводить аналитические, имитационные и экспериментальные исследования в области изучения свойств и технологии материалов современной энергетики с использованием новейших 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
P8	Воспринимать, обрабатывать, анализировать и обобщать научно-техническую информацию, передовой отечественный и зарубежный опыт в области изучения свойств, методов и технологий получения и переработки материалов современной энергетики
P9	Применять иностранный язык в сфере коммуникаций и профессиональной деятельности, представлять результаты научных исследований и разработок в виде отчетов, публикаций, публичных обсуждений
P10	Уметь эффективно работать индивидуально, в качестве члена команды по междисциплинарной тематике, руководить командой, быть способным оценивать, принимать организационно-управленческие решения и нести за них ответственность; следовать корпоративной культуре организации, кодексу профессиональной этики, ответственности и нормам инженерной деятельности
P11	Понимать необходимость и уметь самостоятельно учиться и повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности

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

Школа Инженерная школа ядерных технологий
 Направление подготовки (специальность) 18.05.02 Химическая технология материалов современной энергетики
 Отделение школы (НОЦ) Ядерно-топливного цикла

УТВЕРЖДАЮ:
 Руководитель ООП
 _____ Леонова Л.А.
 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

дипломного проекта

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

Студенту:

Группа	ФИО
0452	Свиридов Сергей Анатольевич

Тема работы:

Проект участка для непрерывного получения медной фольги производительностью 80 тонн в год	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	от 14.12.2020 №349-54/с

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

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе</p> <p><i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<p>Объект проектирования: участок получения медной фольги из раствора электролита. Производительность 80 т/год по медной фольге. Режим работы непрерывный. Плотность тока на катоде 200 А/м².</p>
---	--

<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</p> <p><i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<p>1. Введение.</p> <p>2. Обзор литературы.</p> <p>3. Расчеты и аналитика</p> <p>3.1. Теория процесса</p> <p>3.2. Приборы и методы анализа</p> <p>3.3. Разработка и описание аппаратурно-технологической схемы</p> <p>3.4. Расчет теплового баланса технологической схемы</p> <p>3.5. Расчет основного аппарата</p> <p>3.5.1. Расчет геометрии и габаритов основного аппарата</p> <p>3.5.2. Механический расчет основного аппарата</p> <p>3.5.3. Гидравлический расчет основного аппарата</p> <p>4. Результаты расчетов</p> <p>5. План размещения оборудования</p> <p>5.1. Подбор основного технологического оборудования</p> <p>5.2. Расчет геометрии и габаритов оборудования.</p> <p>5.3. Энергетический расчет технологической схемы.</p> <p>5.4. План размещения оборудования</p> <p>6. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.</p> <p>7. Социальная ответственность.</p> <p>8. Автоматизация процесса.</p> <p>9. Заключение.</p> <p>Список использованных источников</p>
<p>Перечень графического материала</p> <p><i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<p>1. Сборочный чертеж основного аппарата А1</p> <p>2. Аппаратурно-технологическая схема А1</p> <p>3. План размещения оборудования А1</p> <p>4. Блок схема с материальными потоками А1</p> <p>5. Экономическая часть А1</p> <p>6. Автоматизация процесса (приложение в ПЗ) А1</p> <p>7. Презентация Power Point Presentation</p>
<p>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</p> <p><i>(с указанием разделов)</i></p>	
<p>Раздел</p>	<p>Консультант</p>
<p>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</p>	<p>Гузырь В.В., доцент ОСГТ ШБИП</p>
<p>Социальная ответственность</p>	<p>Передерин Ю.В., доцент ОЯТЦ ИЯТШ</p>
<p>Автоматизация процесса</p>	<p>Кузьмина А.В., доцент ОЯТЦ ИЯТШ</p>
<p>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</p>	
<p> </p>	
<p> </p>	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	12 октября 2020 года
---	-----------------------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Ворошилов Ф.А.	к.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0452	Свиридов Сергей Анатольевич		

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

Школа Инженерная школа ядерных технологий
 Направление подготовки (специальность) 18.05.02 Химическая технология материалов современной энергетики
 Уровень образования специалитет
 Отделение школы (НОЦ) Ядерно-топливного цикла
 Период выполнения осенний семестр 2020 /2021 учебного года

Форма представления работы:

дипломный проект

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

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН выполнения выпускной квалификационной работы

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

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
25.12.2020	1. Введение	1
30.11.2020	2. Обзор литературы	5
06.12.2020	3. Расчеты и аналитика	7
08.12.2020	4. Результаты расчетов	1
20.12.2020	5. План размещения оборудования	5
20.12.2020	6. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	6
15.12.2020	7. Социальная ответственность	6
15.12.2020	8. Автоматизация процесса	5
25.12.2020	9. Заключение (выводы)	1
20.12.2020	10. Список использованных источников	3

СОСТАВИЛ:

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЯТЦ ИЯТШ	Ворошилов Ф.А.	к.т.н.		

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЯТЦ ИЯТШ	Леонова Л.А.	к.т.н.		

Реферат

Выпускная квалификационная работа представлена на 113 страницах. Содержит 2 рисунка, 17 таблиц, 68 источников и 9 приложений.

Ключевые слова: медь, медная фольга, электролиз водных растворов, раствор медного купороса, барабанный электролизер.

Целью работы является разработка проекта участка непрерывного получения медной фольги производительностью 80 т/год.

В процессе выполнения дипломного проекта были:

- проведен литературный обзор существующих способов получения медной фольги;
- рассчитаны материальный и тепловой балансы;
- определены габариты основного оборудования, подобрано вспомогательное оборудование;
- разработана аппаратурно-технологическая схема процесса;
- разработана функциональная схема процесса автоматизации;
- определены экономические показатели и рассчитана себестоимость проекта;
- определены опасные и вредные производственные факторы.

Определения, обозначения, сокращения, нормативные ссылки

В настоящей работе использованы следующие определения:

Электролиз – совокупность процессов электрохимического процесса окисления-восстановления на погруженных в электролит электродах при прохождении через него электрического тока.

Электроды – электронно-проводящие фазы, контактирующие с электролитом. Положительно заряженный электрод – анод. Отрицательно заряженный электрод – катод.

Электролит – вещество, расплав или раствор, который проводит электрический ток в следствии диссоциации на ионы.

Выход по току – это процент полного тока, который в данном электролитическом процессе фактически идет на получение нужного продукта.

Фольга – листы металла или его сплавов, раскатанные или электроосажденные заданной толщины в зависимости от области использования.

Обозначения и сокращения:

СИЗ – средства индивидуальной защиты;

ПДК – предельно допустимая концентрация;

КПД – коэффициент полезного действия;

КИПиА – контрольно-измерительные приборы и автоматика;

ЗП – заработная плата;

ППР – планово-предупредительный ремонт.

Оглавление

Введение.....	13
1 Обзор литературы	15
1.1 Физико-химические свойства меди.....	15
1.2 Области применения меди	15
1.3 Электрохимические свойства меди и электродные реакции.....	18
1.4 Методы извлечения меди из руд	19
1.4.1 Пирометаллургический метод	19
1.4.2 Гидрометаллургический метод.....	21
1.5 Основы гидроэлектрометаллургии	23
1.5.1 Электрорафинирование меди.....	24
1.5.2 Электролиз меди с нерастворимыми анодами.....	27
1.6 Электролит для производства меди	30
2 Объект и методы исследования	31
2.1 Описание процесса.....	31
2.2 Разработка и описание аппаратурно-технологической схемы.....	32
2.3 Аппаратурный расчет	33
2.4 Расчет материального баланса технологической схемы.....	37
2.5 Электротехнический расчет.....	41
2.6 Расчет теплового баланса технологической схемы.....	43
2.7 Гидравлический расчет.....	47
2.8 Механический расчет	50
3 Результаты расчетов	53
4 План размещения оборудования	54
4.1 Подбор основного технологического оборудования	54
4.2 Геометрия и габариты основного оборудования.....	54
4.3 Энергетический расчет технологической схемы.....	55
4.4 План размещения оборудования	56
5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	57

5.1	Расчет производственной мощности	57
5.2	Определение баланса времени одного рабочего	60
5.3	Расчет численности основных рабочих	60
5.4	Расчет численности вспомогательного персонала	61
5.5	Расчет численности специалистов, руководителей и служащих	62
5.6	Расчет годового фонда заработной платы	63
5.6.1	Расчет фонда заработной платы основных рабочих	63
5.6.2	Расчет фонда дополнительной заработной платы	65
5.6.3	Расчет фонда заработной платы вспомогательных рабочих	65
5.6.4	Расчет фонда дополнительной заработной платы	66
5.6.5	Расчет годового фонда заработной платы руководителей, специалистов и служащих	67
5.7	Расчет капитальных затрат.....	68
5.8	Расходы на содержание и эксплуатацию здания	71
5.9	Расходы на технологические нужды.....	72
5.10	Калькуляция себестоимости производства	73
5.11	Расчет точки безубыточности.....	75
5.12	Вывод по разделу	75
6	Социальная ответственность	77
6.6	Общая характеристика производства	77
6.7	Вредные вещества.....	78
6.8	Микроклимат	79
6.9	Вентиляция	80
6.10	Электроосвещение	81
6.11	Электробезопасность	82
6.12	Мероприятия по защите от шума и вибрации.....	84
6.13	Пожарная безопасность	85
6.14	Аварийные и чрезвычайные ситуации на предприятии	86
6.15	Вывод по главе	86
7	Автоматизация.....	88
7.1	Описание схемы автоматизации.....	89

7.2	Перечень параметров контроля	92
7.3	Выбор датчиков.....	94
7.4	Заключение по разделу автоматизации	96
	Заключение	97
	Список используемых источников.....	98
	Приложение А	105
	Приложение Б.....	106
	Приложение В.....	107
	Приложение Г	108
	Приложение Д.....	109
	Приложение Е.....	110
	Приложение Ж.....	111
	Приложение З	112
	Приложение И	113

Графический материал на отдельных листах:

ДП ФЮРА 471322.001 СБ

ДП ФЮРА 471322.002 АС

ДП ФЮРА 471322.003 ПР

ДП ФЮРА 471322.004 БС

ДП ФЮРА 471322.005 ЭЧ

ДП ФЮРА 471322.006 СП

Введение

Медь в самородном виде более распространена в природе чем железо. Но резкий скачок в производстве меди произошел только в начале 20 века, что связано с началом широкого применения электричества. Это было вызвано уникальными электротехническими свойствами, которыми обладает медь. В начале прошлого столетия в год выплавлялось примерно 500 тыс. тонн меди. В настоящее время этот показатель составляет более 12 млн. тонн в год. В мировом производстве меди доля, которую занимает Россия составляет около 4,5 %. Основные страны, производящие медь: Чили, Япония и Китай [1].

Основными предприятиями, которые производят медь в России являются ОА «Норильский никель» и предприятия Уральского региона [1].

Среднее содержание меди в земной коре от $4,7 \cdot 10^{-3}$ до $5,5 \cdot 10^{-3}$ %. Медь встречается в природе и в самородном виде, и в соединениях. Из всех соединений промышленное значение имеют следующие: халькопирит CuFeS_2 , борнит Cu_5FeS_4 , халькозин Cu_2S и другие. Иногда медь встречается в самородном виде. Масса скоплений может достигать четырехсот тонн. Содержание металла в руде составляет от 0,3 до 1,0 % [2].

Медь, делают незаменимой в электротехнической промышленности делают такие качества, как высокая пластичность, электропроводность, теплопроводность и стойкость к коррозии.

Дефицит меди возрастает с каждым днём, как и на другие цветные металлы. Раньше добывалась руда, где содержание меди было от 6 до 9 %, сейчас добываются 5 %-ые медные руды, которые считаются очень богатыми. Большинство стран при этом, перерабатывают руду, в которой содержание меди меньше одного процента [3].

В настоящее время потребность рынка России не превышает 300 тонн фольги в год, но потребность мирового рынка превышает это значение. Россия в ближайшем будущем увеличит потребление медной фольги, за счет развития производств диэлектриков для печатных плат и приборостроения. Нарращивание

мощностей в производстве медной фольги позволит России составить конкуренцию зарубежным производителям и укрепить экономику [3].

Из фольги изготавливают различную продукцию, которая используется в электронике, транспортной отрасли и даже в строительстве. Развитие рынка медной фольги в России позволит выйти на новый уровень производства в различных отраслях.

Исходя из вышесказанного возникает необходимость создания автоматизированных линий производства меди, которые позволят увеличить производительность за счет непрерывной работы, в частности медной фольги.

1 Обзор литературы

1.1 Физико-химические свойства меди

По электропроводности медь уступает только серебру, что делает медь важнейшим проводниковым материалом. Также она обладает высокой коррозионной стойкостью, технологичностью и при этом невысокой стоимостью. Все эти свойства обуславливают широкое применение меди в промышленности как в виде сплавов, так и в чистом виде [3].

Медь – пластичный металл розово-золотистого цвета, с атомным номером 29 и массой 63,546 а.е.м. Обладает металлическим блеском. Расположена в 4 периоде, первой группе, побочной подгруппе периодической системы химических элементов [3].

Физические свойства меди таковы: плотность 8890 кг/м³; температура плавления 1083 °С; температура кипения 2657 °С; удельная теплоемкость 400 Дж/(кг·°С); удельная электропроводность 59500000 См/м; относительное удлинение 60 %; предел прочности 200 МПа [3].

Медь изоморфна и кристаллизуется с образованием гранецентрированной кубической решетки [3].

1.2 Области применения меди

Медь, как и наиболее схожий с ней по свойствам металл – алюминий применяют в производстве кабельной продукции. Провода, изготовленные из меди, характеризуются невысоким электрическим сопротивлением и особыми магнитными свойствами. Для изготовления кабельной продукции требуется медь высокой чистоты, т.к. даже незначительное количество посторонних примесей значительно снижает электрическую проводимость. Например, 0,02 % алюминия уменьшают ее на 9 % [3].

Под определением фольги необходимо понимать, что это листы металла или его сплавов, раскатанные до толщины, находящейся в пределах от 0,015 до 0,5 мм в зависимости от области использования данной фольги [4].

Фольга используется для изготовления различной продукции для разных отраслей [4].

Различают несколько видов медной фольги. Медная фольга, в соответствии со стандартом IPC-4562, который предусматривает 8 видов, может производиться двумя способами. Вся медную фольгу подразделяют на катанную и электроосажденную. Для улучшения процесса адгезии, фольга с одной стороны обрабатывается поверхностно.

Электроосажденная медная фольга типа E: группа включает 4 вида меди: стандартная (STD), с высокой пластичностью (HD), горячетянута (HTE) и отожженная (ANN).

Первый тип фольги в чистом виде, практически не применяется в производстве гибких конструкций, но служит хорошим исходным материалом. Такая электроосажденная медь, имеет зернистую структуру, которая предопределяет ее статическое применение. Для изделий, испытывающих динамические изгибы, она не подходит, так как вертикальные границы зерна образуют трещины.

Три другие подразумевают термообработку исходной стандартной фольги. Исходный материал подвергается термической обработке под высокой температурой, с целью модификации структуры зерна, что придает в итоге фольге пластичность разной степени.

Катанная медная фольга типа W: в эту группу входит медная фольга вида: как катанная (AR), маловязкая холоднокатаная (LCR), катанная отожженная (ANN), катанная, отожжённая при низкой температуре (LTA).

Отожженная и катанная медная фольга образуется классическим технологическим процессом (прокатом). Брусок меди проходит через металлические валы, до получения тонкой фольги нужной толщины. Этим методом можно получить фольгу толщиной 18 мкм и менее при использовании специальных роликов. Этот тип фольги самый распространённый в производстве гибких плат. Качество зерна обеспечивает устойчивость к изгибу.

При изготовлении других диэлектрических плат, чаще используется ковкая медь, так как обеспечивает более высокий процент прочности и ударной вязкости.

За счет применяемого метода, фольга может иметь разную прочность и цену [4].

Медная фольга отлично подходит для печати различных плат. Металлический цинк, а также соединения хрома являются защитным слоем поверхности медной фольги. При помещении фольги в разбавленный водой щелочной раствор, этот слой без проблем удаляется с поверхности фольги. Также необходимо, чтобы медная фольга прошла обработку электролитами для обеспечения лучшего сцепления с ее блестящей поверхностью. Это способствует качественному закреплению дорожек, которые будут проводить ток, поэтому эта обработка является достаточно важным элементом в производстве медной фольги. Из такой фольги уже можно будет производить различные печатные платы, имеющие несколько слоев [4].

С матовой стороны медная фольга имеет небольшую шероховатость. Почти всегда ее обрабатывают, чтобы связывание с этой стороной было качественное, прочное, а главное, пригодное для связывания смол. Такая обработка проводится с помощью специальных машин.

Одно из наиболее важных характеристик медной фольги считается прочность на отрыв. Очень важно, чтобы полотно и подложка фольги были очень плотно связаны между собой, чтобы при производстве плат, медная фольга могла выдерживать все этапы. Также, качество связки подложки и полотна будет определять и качество платы, которая будет изготовлена из этой фольги. Таким образом, чем выше будет данная характеристика, тем высшего качества будет у печатной платы печатная плата, а также тем дольше она прослужит [4].

Одним из минусов медной фольги является появление зеленого оттенка, получаемого при ее длительном контакте с кислородом, но это можно изменить полировкой или специальным лакированием.

1.3 Электрохимические свойства меди и электродные реакции

Медь может образовывать одновалентные и двухвалентные ионы. Соли, образованные этими ионами, имеют различную растворимость в воде. Между Cu^{2+} , Cu^+ и Cu в растворе существует равновесие [5]:



Константа равновесия:

$$K_{25^\circ\text{C}} = \frac{a_{\text{Cu}^+}}{a_{\text{Cu}^{2+}}} = x \cdot 10^{-6} \quad (2)$$

$$K_{55^\circ\text{C}} = x \cdot 10^{-4} \quad (3)$$

Такие значения константы равновесия означают, что концентрация солей меди (I), содержащихся в растворе очень мала. Металлы второй подгруппы легко восстанавливаются до металлов из их соединений. Они склонны к комплексообразованию. Доказательством этому может послужить тот факт, что большинство солей меди из раствора выделяются в виде кристаллогидратов.

Медь обладает сравнительно малым перенапряжением и не слишком низким током обмена [5]. Сравнив катодный потенциалы меди с потенциалом водорода, видно, что и катодный, и анодный выходы по току близки к 100% даже при электролизе кислых растворов.

Однако присутствие ионов одновалентной меди препятствует такому протеканию процессов на аноде и катоде с участием Cu^{2+} .

Присутствие иона Cu^+ является крайне нежелательным. Количество данного иона мало, но при его присутствии происходит реакция диспропорционирования, образуется дисперсный металл, вредный для нормального роста катодного осадка. Такая реакция имеет вид [6]:



В растворах равновесие между формами меди характеризуется стандартными потенциалами [7]:

$$\varepsilon_{\text{Cu}^{2+}/\text{Cu}}^0 = +0,34 \text{ В}, \quad (5)$$

$$\varepsilon_{\text{Cu}^+/\text{Cu}}^0 = + 0,54 \text{ В}, \quad (6)$$

$$\varepsilon_{\text{Cu}^{2+}/\text{Cu}^+}^0 = + 0,17 \text{ В}. \quad (7)$$

По значению потенциалов получается, что преимущественно на катоде будет протекать реакция восстановления Cu^+ . Однако константа равновесия (5) говорит о малой равновесной концентрации ионов Cu^+ , что образует сдвиг потенциалов тех реакций, в которых этот ион участвует [8].

1.4 Методы извлечения меди из руд

Существует два метода извлечения меди из руд: пирометаллургический и гидрометаллургический. Пирометаллургический метод применяется для переработки сульфидных руд, а гидрометаллургический способ для извлечения меди из оксидных руд.

Пирометаллургический метод предусматривает переработку исходного сырья на черновую медь с обязательной стадией рафинирования. Гидрометаллургический метод представляет собой получение металла из водных растворов, в которых содержится необходимый металл в виде его соли. Гидрометаллургия обладает рядом преимуществ перед пирометаллургией такими, как меньшее загрязнение окружающей среды и потребление энергии [9].

1.4.1 Пирометаллургический метод

Пирометаллургическое получение меди в промышленности может быть осуществлено несколькими путями. За исключением последнего варианта, включающего непосредственную плавку концентратов на черновую медь, технология получения характеризуется большим количеством стадий. На каждой из стадий процесса постепенно повышают концентрацию меди в основном продукте за счет отделения ее от пустой породы, а также от других сопутствующих элементов.

Наиболее распространенная в настоящее время технология предусматривает использование в обязательном порядке следующих стадий:

плавку на штейн, конвертирование медного штейна, огневое и электролитическое рафинирование меди. В некоторых случаях проводят так же окислительный обжиг сульфидного сырья.

Плавку на штейн проводят как в окислительной и восстановительной атмосферах, так и в нейтральной. Существует много способов плавки меди на штейн, отличающихся друг от друга аппаратным оформлением и технологическими особенностями: плавка на штейн в отражательных печах, в шахтных печах. Но все они, несмотря на широкое распространение, далеко не удовлетворяют современным требованиям и требуют замены более современными методами [9].

После плавки следующим этапом является конвертирование медных штейнов. Штейны могут содержать от 10 % до 75 % меди. Это зависит от вида процесса и состава сырья. Штейны перерабатываются методом конвертирования. Они содержат в основном сульфиды меди и железа. Основной задачей конвертирования является получение черновой меди путем окисления железа, серы и других сопутствующих компонентов. Так как большинство реакций являются экзотермичными, процесс конвертирования не требует затрат дополнительного тепла [9].

Процесс конвертирования штейнов делится на два периода. В первом периоде происходит набор сульфидной массы, представляющий собой процесс окисления сульфидов железа и перевод в шлак образующихся оксидов. После первого периода в конвертере остается белый штейн – практически чистая полу сернистая медь.

Во втором периоде получают черновую медь окислением ее сульфида.

Следующим этапом является рафинирование черновой меди.

Рафинирование, задачей которого является частичная очистка меди от примесей, которые обладают повышенным сродством к кислороду, и подготовка ее к электролитическому рафинированию называется огневым рафинированием. При огневом рафинировании из расплавленной меди удаляются следующие элементы: кислород, сера, железо, никель, цинк, свинец, мышьяк и сурьма, а

также растворенные газы. После огневого рафинирования медь разливают в слитки – аноды, после чего их направляют в цех электролиза.

Анодная медь содержит 99,5 % Cu, остальное – примеси, в том числе серебро, золото, теллур и селен. В процессе рафинирования решают следующие задачи: глубокая очистка меди от примесей и извлечение сопутствующих ценных компонентов. Рафинирования представляет собой процесс, в котором литые аноды и тонкие медные матрицы – катоды попеременно вешают в электролизную ванну, заполненную ее электролитом, и пропускают через ванну постоянный электрический ток [9].

Схема пирометаллургического метода приведена в Приложении А.

1.4.2 Гидрометаллургический метод

Гидрометаллургия является одной из важнейших областей химической промышленности и составляет около 25 % всей производимой меди в 2017 году, а это 17 миллионов тонн было получено гидрометаллургическим путем. Гидрометаллургическая переработка меди состоит из трех стадий: извлечение меди из твердых пород в водную фазу, очистка полученного раствора от примесей и извлечение меди из раствора цементацией или электроосаждением.

Гидрометаллургический способ может быть использован для переработки различных руд. Чаще всего его применяют для извлечения меди из руд окисленных или обожженных сульфидных руд [9].

При выборе растворителя на первом этапе извлечения меди в раствор учитывают некоторые требования. Как и для любого метода эти требования заключаются в экономических и практических факторах, а также его показателях при работе с конкретным типом руд. Для сырья, содержащего медь наиболее применимыми, являются H_2O , раствор H_2SO_4 и раствор $Fe_2(SO_4)_3$

Наиболее дешевым и доступным растворителем является вода. Используется для обработки сырья и полупродуктов, в которых присутствуют хлориды и сульфаты меди. При этом в природе происходит окисление сульфидов

и воздействие воды вместе с кислородом воздуха, что приводит к образованию H_2SO_4 и $Fe_2(SO_4)_3$.

Наиболее распространенный растворитель – раствор серной кислоты. Он обладает высокой растворяющей способностью, дешевизной, а также возможностью его регенерации. Не выгодно его применение для сырья с высоким содержанием основных породообразующих минералов, таких как: известняк, кальцит, доломит, что связано с резким увеличением расхода кислоты для их растворения и невозможностью ее регенерации из данных соединений [9].

Сульфат трехвалентного железа используется для природных сульфидов, но так как подвержен гидролизу, самостоятельного значения не имеет [9].

Для выщелачивания используют различные методы [9].

После выщелачивания и отделения меди от сопутствующих примесей ее необходимо выделить из раствора. Возможно применение метода цементации. В основе данного метода лежит реакция, при которой из раствора электроотрицательным металлом (железом, цинком, никелем) вытесняется медь.

После цементации в составе меди около 25 % железа. Извлечение меди при цементации составляет от 90 до 98 %. Медь после цементации отправляют на медеплавильные заводы для дальнейшей переработки.

Существуют недостатки цементационного метода осаждения меди [9]:

- 1) Расходование серной кислоты для регенерации оборотных растворов, содержащих $FeSO_4$;

- 2) Требуется дополнительная очистки получающейся цементной меди для получения товарного продукта.

Более эффективным методом выделения меди из растворов является электроосаждение [9].

Электролитическое получение меди сейчас занимает ведущее место в гидроэлектрометаллургии по количеству предприятий и объему производства.

Схема гидрометаллургического метода приведена в Приложении Б.

1.5 Основы гидроэлектрометаллургии

Основной процесс в гидроэлектрометаллургии это электролиз. Большое количество металлов можно получить с помощью из их расплавленных соединений, но далеко не все металлы можно извлечь электролизом из их растворов.

Электролизом водных растворов получают тяжелые цветные металлы: медь, цинк, кадмий, никель, кобальт, висмут, сурьму, олово, свинец. Так же такой вид электролиза находит применение в металлургии благородных и рассеянных металлов, а также марганца и хрома.

Конечной стадией извлечения меди из руд пирометаллургическим методом является электролитическое рафинирование, которое представляет собой анодное растворение пирометаллургического металла, загрязненного примесями и осаждение его на катоде в том же самом электролизере в более чистом виде [10].

Другой вид электролиза – электроэкстракция, которая представляет собой осаждение в чистом виде на катоде в электролизере с нерастворимыми анодами металла после извлечения его из руд различными растворителями и очистки растворов. И в электрорафинировании и в электроэкстракции могут применяться как жидкие электроды из ртути и ее сплавов (амальгамация), так и твердые электроды. Теоретически процессы схожи между собой, но практическое применение получил метод с твердыми электродами [10].

Вместо восстановления ионов металлов из растворов на катоде возможно их восстановление другими металлами с большей электроотрицательностью или водородом. Такие процессы тоже можно отнести к электрохимическим, они носят названия цементации и вытеснения.

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

1.5.1 Электрорафинирование меди

В ходе процессе электролитического рафинирования помимо глубокой очистка меди от примесей также происходит извлечение ценных сопутствующих компонентов. Содержание примесей в высшей марке электролизной меди не должна превышать 0,04 %, а кислорода должно быть не более 0,02 % [10].

Основные компоненты входящими в состав электролита для рафинирования меди являются сульфат меди и серная кислота. Содержание этих компонентов в растворе зависит от нескольких факторов [10].

При увеличении содержания меди происходит снижение катодной поляризации во время электролиза, что приводит к образованию более чистых катодных осадков.

С другой стороны, это также приводит к возрастанию сопротивления электролита, из-за чего увеличивается расход электроэнергии. Повышение концентрации кислоты в значительной степени снижает сопротивление электролита и уменьшает растворимость сульфата меди в электролите. Поэтому максимальное снижение затрат электроэнергии за счет уменьшения сопротивления электролита увеличивается вероятность выделения примесей на катоде. Однако несмотря на это, на практике пытаются увеличить содержание серной кислоты и уменьшить содержание меди в электролите.

Примеси влияют на сопротивление электролита. Свой вклад вносят электроотрицательные металлы, в следствии накопления их в электролите. Электропроводность раствора сульфата меди сопоставима с электропроводностью сульфата никеля или железа, в равных концентрациях этих сульфатов [10].

Температура электролита также влияет на процесс. При повышенной температуре, сопротивление электролита падает, но требуется большая затрата электроэнергии. Тепла, выделяемого током недостаточно для поддержания нужной температуры, поэтому необходимо подводить дополнительное тепло. Практика установила, что выгодно обеспечивать высокую температуру

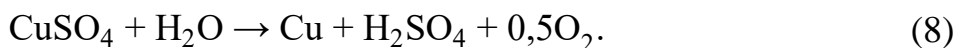
процесса. Однако сильное повышение температуры электролита приводит к испарению раствора, усиливает химическое растворение меди, затрудняет работу в цехе. Исходя из этих фактов температуру держат на уровне не выше 60 °С [11].

Для получения более качественных катодных осадков применяется введение в электролит поверхностно-активных коллоидных добавок, таких как: желатин, сульфитный щелок, столярный клей и др.) [11].

В ходе процесса происходит обеднение раствора медью в прикатодном пространстве и обратный процесс в прианодном, что вызывает местное изменение плотностей электролита. Это приводит к расслаиванию, в следствии чего, процессы, протекающие на электродах, являются не равномерными по высоте этих электродов. Для того, чтобы устранить эти явления следует проводить перемешивание электролита. Поддержание температуры электролита в заданных пределах осуществляется за счет общего подогрева электролита, а также непрерывной смены электролита в электролизной ванне. Скорость подачи электролита должна быть от 10 до 20 л/мин [11].

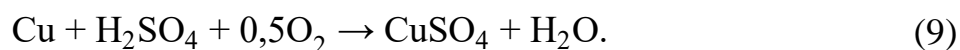
Для поддержания постоянного режима электролиза электролит необходимо регенерировать. Регенерацию можно проводить двумя способами: 1) электролиз с нерастворимыми анодами и 2) выпаривание части электролита.

Для первого случая характерно выделение кислорода и осаждение меди. Реакция процесса [11]:



Концентрация меди в растворе уменьшается, а кислоты увеличивается в следствии протекания реакции [11].

В ходе регенерации раствор очищается от примесей, в первую очередь от мышьяка, но удаление всех примесей невозможно. Для того, чтобы их удалить часть электролита отбирается в отделение регенерации. Эта часть электролита пропускается несколько раз через башню с обрезками металлической меди. Протекает следующая реакция [11]:



По данной реакции видно, что кислоты раствор нейтрализуется. После этого раствор упаривают, для выделения кристаллов медного купороса.

Сульфат никеля, который содержится в растворе после электролиза удаляется выпариванием с последующей кристаллизацией. После выделения никеля маточный раствор представляет собой концентрированную серную кислоту, загрязненную примесями (цинк, железо, сурьма и др.). Раствор выпаривают. Сульфаты металлов выпадают в осадок, так как нерастворимы в концентрированной серной кислоте, а полученную в результате процесса выпаривания серную кислоту можно снова добавлять в электролит.

В Приложении В приведена схема процесса электрорафинирования меди.

Механизм электролитического рафинирования меди состоит из следующих стадий [12]:

- 1) растворение меди на аноде и образованием Cu^{2+} ;
- 2) перенос Cu^{2+} через слой электролита к катоду;
- 3) восстановление меди на катоде;
- 4) закрепление меди на поверхности катод.

Для осаждения одного грамм-эквивалента меди расходуется 96500 Кл электричества или 26,8 А·ч [12].

Если пропускать через электролит ток силой 1 А в течение одного часа выделится 1,186 г меди. Для увеличения количества меди, выделяемой на катоде, необходимо пропускать больше электричества. Чтобы оценить интенсивность процесса используется величина плотности тока (D), представляющая собой отношение силы тока к единице поверхности электрода [12]:

$$D = \frac{I}{F} \frac{\text{А}}{\text{м}^2}. \quad (10)$$

Рафинирование происходит при плотности тока от 240 до 300 А/м² [12]. Практический выход основного металла на катоде всегда ниже, чем теоретический. Отношение массы фактически выделившегося металла к

количеству, которое должно было выделиться согласно закону Фарадея, есть величина, которая называется выход по току, который выражается в процентах. Физический смысл выхода по току – степень использования электрического тока, протекающего через электролизер для совершения основной электрохимической реакции.

При выходе по току 95 %, на побочные реакции расходуется 5% электроэнергии. Производительность возрастает при увеличении выхода по току, при снижении затрат электроэнергии [12].

Напряжение на ванне также влияет на расход электроэнергии в результате преодоления сопротивления на разных частях ванны.

1.5.2 Электролиз меди с нерастворимыми анодами

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



Особенностью в катодном процессе является большая величина катодной поляризации, связанная с низким содержанием ионов Cu^{2+} в электролите. Вследствие этого, при глубоком удалении меди из раствора начинает происходить выделение водорода, что приводит к ухудшению качества катодного осадка. По этой причине медь извлекается из раствора не полностью, чтобы не происходило обеднение электролита. Также следует применять проточную циркуляцию электролита для поддержания концентрации раствора на должном уровне [12]. В отличие от катодного, процесс на аноде существенно отличается от процесса при электрорафинировании меди.

Материалом анода является свинец, на котором протекают следующие реакции:

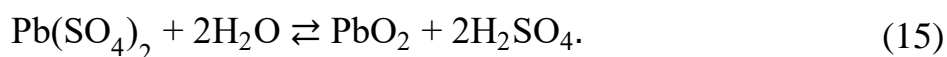


На аноде сначала растворяется металлический Pb, так как эта реакция имеет наиболее отрицательный равновесный потенциал ($\varphi_{\text{Pb}/\text{Pb}^{2+}} = -0,13 \text{ В}$) [13]. Это наблюдается в первый момент электролиза с новыми анодами. Перешедшие в раствор ионы Pb^{2+} образуют с ионами SO_4^{2-}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

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

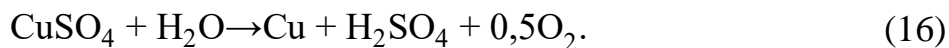


Образующийся при этом сульфат свинца четырехвалентного гидролизует, образуя двуокись свинца:



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

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



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

Растворы электролита должны содержать не менее 20 г/л Cu и 35 г/л свободной серной кислоты. После выщелачивания содержание серной кислоты в растворе богато медью очень низкое.

Электролит, поступающий в ванну, имеет температуру окружающей среды, отработанный раствор имеет температуру на 5 – 10 градусов выше исходной [13].

Скорость циркуляции раствора всегда поддерживают высокой. За счет этого электролит в ваннах не успевает обедниться по меди. Необходимая степень извлечения меди достигается путем создания каскада циркуляции, в котором концентрация меди в первой и последней ванне отличаются. В последней ванне концентрация меди может составлять от 12 до 15 г/л [13].

Отработанный электролит, в котором содержание серной кислоты превышает допустимое значение отправляют на выщелачивание и затем возвращают в процесс. При такой замкнутой циркуляции он постепенно обогащается растворенными примесями. Поэтому часть электролита выводится из цикла. Основной примесью при электроэкстракции является железо. Его содержание допускается до 5 г/л [13].

Ванны для электролиза с нерастворимыми анодами преимущественно изготавливают из железобетона, футеруют свинцом. Размеры ванн колеблются в широких диапазонах. Количество анодов различно (от 30 до 150). Расстояние между ними примерно 100 мм.

В качестве катодов могут быть использованы медные листы. Катодная плотность тока может составлять от 100 до 250 А/м². Допустимая значение определяется по содержанию Fe и Ni.

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

1.6 Электролит для производства меди

Для процесса электролиза медь в состав электролита входят: CuSO_4 от 130 до 280 г/дм³, H_2SO_4 от 70 до 100 г/дм³, Cl^- от 0,0001 до 0,001 г/дм³. Из такого электролита возможно получить фольгу с необходимыми свойствами и малой толщиной.

На данный момент медную фольгу получают раскатыванием из слитков при высоком давлении, а затем отжигают при температуре от 450 до 650 °С в инертной атмосфере [14].

Применение такого метода сопровождается получением медной фольги различной толщины по ширине, что приводит к различным механическим свойствам на одном участке данной фольги.

Медную фольгу для печатных плат могут получать из электролита, в котором находится CuSO_4 , H_2SO_4 , а также ионы хлора 0,005 – 0,1 г/дм³ и желатин 0,0005 – 0,003 г/дм³. В этом методе фольга получается слабо пластичной и шероховатой с внутренней стороны из-за ионов Cl^- [15].

Применение электролизера с барабан-катодом и электролитом, не содержащим ионы хлора и желатин, приводит к получению тонкой фольги, с необходимыми физико-механическими свойствами, гладкой с обеих сторон. Состав данного электролита представляет из себя раствор, в котором находятся: CuSO_4 от 50,0 до 150,0 г/дм³, H_2SO_4 от 100,0 до 300,0 г/дм³, H_2O [15].

2 Объект и методы исследования

2.1 Описание процесса

Процесс, рассматриваемы в данном проекте относится к электрометаллургии и необходим для разработки непрерывного получения медной фольги при электролизе водных растворов [15].

Для данного процесса необходима следующая последовательность основных операций: подготовка электролита, проведение процесса электролиза при котором металл выделяется из раствора и осаждается на барабан-катод, непрерывное снятие фольги с поверхности катода, промывка ленты и смотка ее в рулон.

При проектировании аппарата следует ориентироваться на информацию, изложенную в патентах российских и зарубежных авторов [14,15].

Согласно патентам, зарубежных авторов аппарат представляет собой конструкцию из электролизной ванны с цилиндрическим днищем, на котором расположен полностью погруженный в электролит анод в форме дуги, барабан-катод, подвод электроэнергии к аноду и катоду, патрубки для обеспечения циркуляции электролита в ванне, устройство для снятия медной фольги с поверхности катода. При этом необходимо обеспечить зазор между анодом и катодом [15].

Следующий используемый патент описывает процесс подготовки электролита, а также некоторые условия для осуществления процесса. По данным патента все компоненты электролита должны быть высокой степени чистоты. Компоненты перед смешением проходят очистку и фильтрацию. Процесс желательно проводить при использовании постоянного тока. Медную фольгу снимают с катода и скручивают в рулон в виде тонкой фольги [16].

Катод изготавливают из нержавеющей стали в виде полого цилиндра. Поверхность анода соответствует поверхности катода, с целью обеспечения необходимого зазора между ними в диапазоне от 0,2 до 2 см [16].

При работе электролизера, электролит в нем должен обновляться в промежутке от 1 до 2 часов, что обеспечивает скорость движения электролита в пределах от 0,5 до 3 м/с [17].

При ведении процесса электролиза электролит должен быть подогрет до температуры в интервале от 40 до 60 °С [18].

Концентрация меди в электролите составляет от 25 до 100 г/л. Плотность тока должна составлять от 1,0 до 2,0 А/см² [18].

2.2 Разработка и описание аппаратурно-технологической схемы

Основной аппарат – электролизер (1), представляет собой устройство, состоящее из ванны, барабан-катода, анода. Анод полностью погружен в электролитный раствор, в то время как катод погружен частично (на 70 % поверхности) [18].

Для достижения производительности 80 т/год необходимо 4 электролизера. Процесс разделен на 2 технологические линии по 2 электролизера в каждой.

С источника питания (2) на электролизер подается постоянный ток или переменный ток с сильной составляющей постоянного тока. При этом ионы меди подходят к поверхности катода и получив электроны у поверхности катода, гальванически осаждаются в виде непрерывного полотна. Барабан вращается вокруг своей оси с заданной скоростью, а фольга снимается с поверхности в виде тонкой ленты, проходя через линию отмывки от электролита и сушки (3), скручивается в рулон на барабанах намотки (4) [19].

Процесс является непрерывным, в связи с этим участок электролиза представляет собой две замкнутые линии, по которым циркулирует электролит.

Раствор сульфата меди пройдя стадию очистки поступает на участок в бак (6). Из бака с серной кислотой (7) в агитатор (8) поступает серная кислота необходимой концентрации. В агитаторе (8) происходит подготовка электролита нужного состава путем смешения нескольких компонентов. Из агитатора при помощи насосов (9) электролит подается в электролизные ванны (1), при этом

проходя через теплообменники (10) и нагреваясь до необходимой для процесса температуры, которая составляет 55 °С [20].

В ходе процесса электролитный раствор истощается по содержанию меди и насыщается серной кислотой. В связи с этим из электролизной ванны раствор поступает в сборный бак (5), из которого, при большой концентрации серной кислоты, отводится часть раствора, которую можно направить на выщелачивание [20].

Качество медной фольги чувствительно к изменениям параметров проведения процесса, из-за этого необходимо постоянно поддерживать одинаковую концентрацию компонентов электролита.

Раствор из сборного бака (5) поступает в агитатор (8) с помощью насоса (11), в котором происходит корректировка электролита, по всем компонентам входящим в состав, до значений необходимых для электролиза, а затем происходит его возвращение в электролизеры.

2.3 Аппаратурный расчет

Рассчитываем габаритные размеры аппарата, исходя из заданной производительности $Q = 80$ т/год.

Аппарат работает без остановок 355 дней в год, учитывая время, необходимое на ремонт. Переводим значение производительности в кг/час:

$$Q = \frac{80 \cdot 1000}{355 \cdot 24} = 9,389 \frac{\text{кг}}{\text{час}}.$$

Формула расчета производительности электролизера за 1 час:

$$Q_{\text{час}} = I \cdot \tau \cdot V_T \cdot q, \quad (17)$$

где: I – сила тока, А;

τ – время работы, час;

V_T – выход по току, в долях единицы;

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

Исходя из формулы (17) можем рассчитать общую силу тока, необходимую для проведения процесса:

$$I = \frac{Q}{\tau \cdot V_T \cdot q}; \quad (18)$$

$$I_{\text{общ}} = \frac{9389}{1,0,95 \cdot 1,186} = 8333,19 \text{ А.}$$

Зная значения тока и приняв значение плотности тока 200 А/м^2 , можно рассчитать общую рабочую площадь катода по формуле:

$$S_{\text{кат}} = \frac{I_{\text{общ}}}{i_{\text{кат}}}; \quad (19)$$

$$S_{\text{кат}} = \frac{8333,19}{200} = 41,67 \text{ м}^2.$$

В электролит погружено 70 % поверхности катода. Исходя из этого общая площадь катодов составляет:

$$S_{\text{кат}} = \frac{41,67 \cdot 100}{70} = 59,53 \text{ м}^2.$$

Ширина барабана принимается равной 1,6 м, так как данная ширина соответствует требованиям рынка производства медной фольги.

Зная ширину барабан-катода можно определить его диаметр.

Определим диаметр барабан-катода по формуле:

$$S_{\text{кат}} = 2 \cdot \pi \cdot r \cdot H = \pi \cdot D \cdot H; \quad (20)$$

$$D_{\text{кат}} = \frac{S_{\text{кат}}}{\pi \cdot H} = \frac{59,53}{3,14 \cdot 1,6} = 11,84 \text{ м.} \quad (21)$$

Так как такой диаметр барабан-катода является слишком большим, принимаем решение разделить процесс на несколько аппаратов. Примем диаметр равный 3 м, тогда площадь поверхности одного катода составит:

$$S_{\text{кат}} = \pi \cdot D \cdot H = 3,14 \cdot 3 \cdot 1,6 = 15,08 \text{ м}^2. \quad (22)$$

Количество аппаратов рассчитаем по формуле:

$$N_{\text{апп}} = \frac{\sum S_{\text{кат}}}{S_{1 \text{ кат}}} = \frac{59,53}{15,08} = 3,94 \approx 4 \text{ аппарата.} \quad (23)$$

Рассчитаем рабочую площадь катода:

$$S_{\text{р.к.}} = 15,08 \cdot 0,7 = 10,56 \text{ м}^2.$$

Можем рассчитать какой ток нужно подать на 1 аппарат:

$$I=200 \cdot 10,56=2112 \text{ A.}$$

Анод выполнен в виде дугообразной пластины, расположенной в нижней части электролизной ванны коаксиально поверхности катода. Площадь анода рассчитаем по формуле:

$$S=L \cdot H. \quad (24)$$

Расстояние между катодом и анодом составляет 20 мм, следовательно радиус дуги анода на 20 мм больше радиуса катода, и равняется 1,52 м.

Длина дуги считается по формуле:

$$L_{\text{д}} = \frac{\pi \cdot R \cdot \alpha}{180}, \quad (25)$$

где: R – радиус дуги, м;

α – внутренний угол дуги.

$$S_{\text{ан}} = \pi \cdot R \cdot H \cdot 1,25 = 9,67 \text{ м}^2. \quad (26)$$

Рассчитаем анодную плотность тока:

$$i_{\text{ан}} = \frac{I}{S_{\text{а}}} = \frac{2112}{9,67} = 218 \frac{\text{A}}{\text{м}^2}. \quad (27)$$

Далее определим габаритные размеры ванны, учитывая, что анод выполнен из листового свинца С2 изготовленного толщиной 10 мм [21].

Проведение процесса требует наличие электролита только в промежутке между катодом и анодом, что обусловлено сокращением расхода электролита. Нижняя часть ванны будет иметь округлую форму, коаксиальную электродам.

Длина ванны рассчитывается, учитывая диаметр катода, расстояние между электродами, толщину анода. Длина составляет 3060 мм.

Ширина ванны рассчитывается, учитывая диаметр катода и расстояние от катода до стенок ванны, по 10 мм с каждой стороны.

Для простоты расчета объем ванны будет рассчитываться из суммы объемов верхней и нижней частей:

$$V_{\text{общ}} = V_{\text{в.ч.}} + V_{\text{н.ч.}} \quad (28)$$

Верхняя часть представляет собой параллелепипед, объем которого рассчитывается как произведение длины, высоты и ширины ванны, по формуле:

$$V_{\text{в.ч.}}=a \cdot b \cdot c. \quad (29)$$

Высота верхней части составляет 30 % от диаметра катода.

$$V_{\text{в.ч.}}=3,06 \cdot 1,62 \cdot (3 \cdot 0,3)=4,46 \text{ м}^3.$$

Общая высота ванны составляет 2450 мм, возьмем с запасом и, чтобы избежать переливов добавим 100 мм. Высота ванны составляет 2550 мм.

Объем нижней части представляет собой половину цилиндра и рассчитывается по формуле:

$$V_{\text{н.ч.}}=0,5 \cdot \pi \cdot r^2 \cdot H=0,5 \cdot 3,14 \cdot 1,52^2 \cdot 1,62=5,88 \text{ м}^3. \quad (30)$$

$$V_{\text{общ}}=4,46+5,88=10,34 \text{ м}^3.$$

Определим объем, который занимает катод:

$$V_{\text{кат}}=\pi \cdot r_{\text{кат}}^2 \cdot H_{\text{кат}}=11,31 \text{ м}^3; \quad (31)$$

$$V_{\text{раб}}=10,34-11,31 \cdot 0,7=2,42 \text{ м}^3.$$

При работе электролизера, раствор электролита в нем будет двигаться со скоростью от 1 до 3 м/с. Мы принимаем скорость движения электролита 1 м/с.

Необходимо также рассчитать мощность двигателя для вращения барабана.

Расчет проводим по формуле:

$$N_{\text{двиг}}=D^3 \cdot H \cdot \rho \cdot n \cdot k, \quad (32)$$

где: D – диаметр барабана, м;

H – ширина барабана, м;

n – число оборотов барабана, об/мин;

ρ – плотность материала барабана, кг/м³.

Барабан должен вращаться с частотой 1 об/час или 0,017 об/мин.

Рассчитаем мощность двигателя:

$$N_{\text{двиг}}=3^3 \cdot 1,6 \cdot 0,017 \cdot 7800 \cdot 0,3=1718,5 \text{ Вт}=1,7 \text{ кВт}$$

Двигателей с такой частотой вращения не существует. Соответственно нужно выбрать привод, в котором комбинирован мотор и редуктор. Наименьшая частота вращения 500 об/мин и передаточное число редуктора 30000.

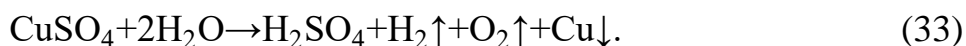
Возможно использовать для наших целей двигатель и редуктор объединенные в одном узле. Таким двигателем является цилиндро-червячный мотор-редуктор Sew-Eurodrive серии S, Работающий от питания 220/380 В. Сочетание редукторного мотора с цилиндрическими и червячными редукторами предоставляет возможность создания привода с низкой выходной скоростью и высоким крутящим моментом [22]. Мотор-редуктор представлен на рисунке 1.



Рисунок 1 – Мотор-редуктор Sew-Eurodrive серии S [22]

2.4 Расчет материального баланса технологической схемы

Суммарная реакция электролиза:



Из условий электролит имеет концентрацию 25 г/л в пересчете на медь.

Рассчитаем состав одного литра электролита.

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

$$m = \frac{m_1 \cdot M}{M_1}, \quad (34)$$

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

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

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

$$m(\text{CuSO}_4) = \frac{25 \cdot 160}{64} = 62,5 \text{ г.}$$

Плотность медного купороса $1,2 \text{ г/см}^3$, можем рассчитать его объем:

$$V(\text{CuSO}_4) = \frac{62,5}{1,2} = 52 \text{ см}^3.$$

Концентрация серной кислоты в электролите составляет 200 г/л . Плотность концентрированной серной кислоты составляет $1,84 \text{ г/см}^3$. Объем серной кислоты, содержащейся в 1 л электролита по уравнению:

$$V = \frac{m}{\rho}, \quad (35)$$

где: V – объем, см^3 ;

m – масса, г ;

ρ – плотность, г/см^3 .

$$V(\text{H}_2\text{SO}_4) = \frac{200}{1,84} = 108,69 \text{ см}^3.$$

Рассчитаем объем воды в 1 л электролита:

$$V_{\text{H}_2\text{O}} = 1000 - V_{\text{H}_2\text{SO}_4} + V_{\text{CuSO}_4}, \quad (36)$$

$$V_{\text{H}_2\text{O}} = 1000 - 108,69 - 52,08 = 839,23 \text{ см}^3.$$

В таблице 1 представлено процентное соотношение компонентов в электролите.

Таблица 1 – Состав электролита в 1 л

Компонент	Концентрация, г/л	Массовая доля, %
CuSO_4	62,50	5,67
H_2SO_4	200,00	18,15
H_2O	839,20	76,17
Итого	1101,70	100

Можем рассчитать плотность полученного электролита по формуле:

$$\rho_{\text{эл-та}} = \sum \rho \cdot \omega, \quad (37)$$

где: ρ – плотность компонента электролита, г/см^3 ;

ω – массовая доля компонента.

Плотность медного купороса $1,2 \text{ г/см}^3$, плотность воды примем 1 г/см^3 .

$$\rho_{\text{эл-та}} = 1,2 \cdot 0,0567 + 1,84 \cdot 0,1815 + 1 \cdot 0,7617 = 1,16 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}.$$

Сила тока, протекающая через раствор электролита равна 1846 А .

Определим производительность электролизера за час по формуле:

$$Q_{\text{час}} = I \cdot \tau \cdot V_{\text{г}} \cdot q = 2112 \cdot 1 \cdot 0,95 \cdot 1,186 = 2079,89 \text{ г} = 2,38 \text{ кг}. \quad (38)$$

Количество сульфата меди, необходимое для получения $2,38 \text{ кг}$ меди:

$$m_{\text{CuSO}_4} = \frac{m_{\text{Cu}} \cdot M_{\text{CuSO}_4}}{M_{\text{Cu}}}, \quad (39)$$

$$m_{\text{CuSO}_4} = \frac{2380 \cdot 160}{64} = 5976,84 \text{ г}.$$

Объём электролита в электролизере $2,42 \text{ м}^3$. В одном литре содержится $62,5 \text{ г CuSO}_4$. Общее количество сульфата в исходном растворе электролита:

$$m_{0(\text{CuSO}_4)} = \frac{2420 \cdot 62,5}{1} = 151958,34 \text{ г}.$$

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

$$m_{0(\text{CuSO}_4)} = 151958,34 - 5976,84 = 145981,50 \text{ г}.$$

Определим массу водорода, выделяющегося на катоде:

$$Q_{\text{час}} = I \cdot \tau \cdot V_{\text{г}} \cdot q = 2112 \cdot 1 \cdot 0,05 \cdot 0,037 = 3,91 \text{ г}. \quad (40)$$

Ион SO_4^{2-} не разряжается на аноде, значит его количество в растворе электролита можно рассчитать по формуле:

$$m_{\text{SO}_4^{2-}} = \frac{5976,84 \cdot 96}{160} = 3431,77 \text{ г},$$

$$m_{\text{H}_2\text{SO}_4} = \frac{3431,77 \cdot 98}{96} = 3503,26 \text{ г}.$$

Выход по току для меди составляет 95% , следовательно, выход по току для водорода 5% .

$$m_{\text{H}_2} = 3503,26 - 3431,77 = 71,50 \text{ г},$$

$$m_{\text{H}_2} = 71,50 - 3,91 = 67,59 \text{ г}.$$

Определим массу выделившегося кислорода:

$$m_{O_2} = \frac{67,59 \cdot 32}{4} = 60,08 \text{ г.}$$

Определим массу воды, разлагающейся на аноде:

$$m_{H_2O} = \frac{60,08 \cdot 18}{32} = 33,82 \text{ г.}$$

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

$$m_{H_2O} = \frac{151,96 \cdot 76,17}{5,67} = 2040,37 \text{ г,}$$

$$m_{H_2SO_4} = \frac{151,96 \cdot 18,15}{5,67} = 486,27 \text{ г.}$$

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

$$m_{\text{в-ва (3 аппарата)}} = m_{\text{в-ва (1 аппарат)}} \cdot 4. \quad (41)$$

В таблице 2 приведен материальный баланс процесса электролиза с учетом 4 аппаратов.

Таблица 2 – Материальный баланс процесса электролиза

Приход	м, кг/час	%	Расход	м, кг/час	%
Раствор:			Раствор:		
CuSO ₄	607,83	5,67	CuSO ₄	583,93	5,45
H ₂ O	8161,50	76,17	H ₂ O	8161,36	76,17
H ₂ SO ₄	1945,07	18,15	H ₂ SO ₄	1959,08	18,28
			Cu	9,52	0,09
			Газ:		
			H ₂	0,27	0,002
			O ₂	0,24	0,002
Итого:	10717,40	100	Итого:	10714,40	100

2.5 Электротехнический расчет

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

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

Напряжение на ванне рассчитывается по следующей формуле:

$$U_{\text{ван}} = E_{\text{разл}} + \eta_a + \eta_k + \Delta U_a + \Delta U_k + \Delta U_{\text{эл-та}}, \quad (42)$$

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

η_a, η_k – перенапряжение анодное и катодное, В;

ΔU_a – падение напряжения на аноде, В;

ΔU_k – падение напряжения на катоде, В;

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

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

Рассчитаем падение напряжения на электролите по формуле [23]:

$$\Delta U_{\text{эл-та}} = \frac{I \cdot \rho \cdot l}{\frac{(S_a + S_k)}{2}}, \quad (43)$$

где: I – сила тока, А;

l – расстояние между анодом и катодом, м;

ρ – удельное электрическое сопротивление, Ом·м;

S_a, S_k – площадь анода и катода, м².

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

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

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

$$\rho_{\text{CuSO}_4} = 315 \cdot 10^{-3} \text{ Ом} \cdot \text{м};$$

$$\rho_{\text{H}_2\text{SO}_4} = 25 \cdot 10^{-3} \text{ Ом} \cdot \text{м};$$

$$\rho_{\text{H}_2\text{O}} = 10^{-3} \text{ Ом} \cdot \text{м}.$$

Можем посчитать сопротивление электролита по формуле:

$$\rho_{\text{эл-та}} = \rho_{\text{CuSO}_4} \cdot \omega_{\text{CuSO}_4} + \rho_{\text{H}_2\text{SO}_4} \cdot \omega_{\text{H}_2\text{SO}_4} + \rho_{\text{H}_2\text{O}} \cdot \omega_{\text{H}_2\text{O}}, \quad (44)$$

$$\rho_{\text{эл-та}} = 315 \cdot 10^{-3} \cdot 0,0567 + 25 \cdot 10^{-3} \cdot 0,1815 + 10^{-3} \cdot 0,7617 = 0,0232.$$

Рассчитаем падение напряжения в электролите:

$$\Delta U_{\text{эл-та}} = \frac{2112 \cdot 0,0232 \cdot 0,02}{\frac{(9,67 + 15,08)}{2}} = 0,079 \text{ В}.$$

Падение напряжения на электродах рассчитаем по формулам [23]:

$$\Delta U_a = \rho_a \cdot L_a \cdot i_a, \quad (45)$$

$$\Delta U_k = \rho_k \cdot L_k \cdot i_k. \quad (46)$$

$$\Delta U_a = 2,21 \cdot 10^{-7} \cdot 4,78 \cdot 218,41 = 0,0002 \text{ В};$$

$$\Delta U_k = 7,5 \cdot 10^{-7} \cdot 9,42 \cdot 200 = 0,0014 \text{ В}.$$

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

Рассчитаем напряжение на ванне:

$$U_{\text{ван}} = 0,337 + 0,2 + 0,5 + 0,079 + 0,0002 + 0,0014 = 1,118 \text{ В}.$$

Рассчитаем удельный расход электроэнергии [23]:

$$W_{\text{уд}} = \frac{W_{\text{час}}}{G_{\text{Cu}} \cdot V_{\text{TCu}}} = \frac{U_{\text{ван}} \cdot I \cdot \tau}{G_{\text{Cu}} \cdot V_{\text{TCu}}}, \quad (47)$$

$$W_{\text{уд}} = \frac{1,118 \cdot 2112 \cdot 1}{2380 \cdot 0,95} = 1,044 \frac{\text{Вт} \cdot \text{ч}}{\text{г}}.$$

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

$$U_{\text{ист}} = U_{\text{ван}} + U_{\text{т.п.}} \quad (48)$$

Материал проводов – медь. Принимаем длину токоподвода 10 метров.

Можем рассчитать падение напряжения в проводах.

$$\Delta U_{\text{т.п.}} = \frac{I \cdot \rho_{\text{Cu}} \cdot l_{\text{пр}}}{S_{\text{пр}}}, \quad (49)$$

где: I – сила тока, А;

$l_{\text{пр}}$ – длина провода, м;

$S_{\text{пр}}$ – сечение провода, см².

Найдем сечение провода по формуле:

$$S_{\text{пр}} = \frac{I}{i_{\text{прох}}}, \quad (50)$$

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

$$S_{\text{пр}} = \frac{2112}{3} = 704 \text{ мм}^2 = 7,04 \text{ см}^2.$$

Примем кабель из медного провода сечением 7,00 см², марка кабеля – ПвВнг(В)-LS (кабель с медными жилами, с изоляцией из сшитого полиэтилена, с наружной оболочкой из поливинилхлоридного пластика пониженной пожарной опасности, не распространяющий горение) [24].

$$\Delta U_{\text{т.п.}} = \frac{2112 \cdot 1,68 \cdot 10^{-6} \cdot 1000}{7,00} = 0,507 \text{ В.}$$

Напряжение на источнике тока:

$$U_{\text{ист}} = 1,118 + 0,507 = 1,625 \text{ В.}$$

Зная напряжение на электролизере и силу тока, мы можем выбрать источник тока. Нам подходит агрегат типа ТВ1-2500/15Т-0 УХЛ-4 со следующими характеристиками: номинальный постоянный ток – 2500 А, номинальное постоянное напряжение – 15 В, КПД – от 78 до 92 %. Агрегат рассчитан на работу от сети трехфазного переменного тока напряжением 380 В и частотой 50 Гц [25].

2.6 Расчет теплового баланса технологической схемы

Для нормальной работы электролизера должно соблюдаться тепловое равновесие, когда приход тепла равен расходу тепла в единицу времени при установившемся режиме электролиза.

Рассчитаем тепловой баланс электролизера:

$$\sum Q_{\text{приход}} = \sum Q_{\text{расх}} , \quad (51)$$

$$Q_{\text{Дж}} + Q_{\text{эл-та}} = Q_{\text{Г}} + Q_{\text{отр}} + Q_{\text{потерь}} . \quad (52)$$

Рассчитаем Джоулево тепло по формуле:

$$Q_{\text{Дж}} = U_{\text{гр}} \cdot I \cdot \tau , \quad (53)$$

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

τ – время, с.

$$U_{\text{гр}} = U_{\text{ван}} - E_{\text{разл}} \cdot V_{\text{T}} , \quad (54)$$

$$U_{\text{гр}} = 1,118 - 0,337 \cdot 0,95 = 0,798 \text{ В},$$

$$Q_{\text{Дж}} = 0,798 \cdot 2112 \cdot 3600 = 6067353,6 \text{ Дж}.$$

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

$$Q_{\text{эл-та}} = C_{\text{р}_{\text{эл-та}}} \cdot m_{\text{эл-та}} \cdot T_{\text{вх}} , \quad (55)$$

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

m – начальная масса, кг;

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

Удельная теплоемкость компонентов электролита:

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

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

$$C_{\text{р}(\text{CuSO}_4)} = 4,18 \text{ кДж/Г} \cdot \text{°С}.$$

$$C_{\text{р}_{\text{эл-та}}} = \sum C_{\text{р}_{\text{комп}}} \cdot \omega . \quad (56)$$

$$C_{\text{р}_{\text{эл-та}}} = 0,4 \cdot 0,0567 + 1,4 \cdot 0,1815 + 4,18 \cdot 0,7617 = 3,46 \text{ кДж/Г} \cdot \text{°С}.$$

Исходя из условий поставленной задачи, масса электролита 1322040 г.

$$Q_{\text{эл-та}} = 3,46 \cdot 2678600 \cdot 298 = 2761850890 \text{ Дж}.$$

Определим тепло, уносимое с медной фольгой:

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

$$Q_{Cu} = 400 \cdot (328 - 298) \cdot 2380 = 28560000 \text{ Дж.}$$

Далее определим тепло уносимое газами, образующимися на электродах.

Удельные теплоемкости газов:

$$C_{p(O_2)} = 920 \text{ кДж/Г} \cdot \text{°C};$$

$$C_{p(H_2)} = 14410 \text{ кДж/Г} \cdot \text{°C}.$$

$$Q_{\text{газ}} = C_p \cdot (T_{\text{газ}} - T_{\text{окр}}) \cdot m_{\text{газ}}. \quad (57)$$

Тепло уносимое с кислородом:

$$Q_{O_2} = 920 \cdot (328 - 298) \cdot 60,08 = 1658208 \text{ Дж.}$$

Тепло уносимое с водородом:

$$Q_{O_2} = 14410 \cdot (328 - 298) \cdot 67,59 = 29219157 \text{ Дж.}$$

Общее тепло уносимое с газами:

$$Q_{\text{газ}} = 1658208 + 29219157 = 30877365 \text{ Дж.}$$

Согласно условиям, представленным в патентах, температура проведения процесса равно 55 °С или 328 К. Можем рассчитать тепло, уносимое с электролитом:

$$Q_{\text{отр}} = C_{p_{\text{отр}}} \cdot m_{\text{отр}} \cdot T_{\text{отр}}, \quad (58)$$

$$C_{p_{\text{отр}}} = \sum C_{p_{\text{отр}}} \cdot \omega, \quad (59)$$

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

$$Q_{\text{отр}} = 3,46 \cdot 328 \cdot 2678600 = 3039889570 \text{ Дж.}$$

Потери тепла за счет теплоотдачи со стенок и днища электролизера:

$$Q_{\text{теплоотдачи}} = \alpha \cdot \Delta T \cdot F \cdot \tau, \quad (60)$$

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

ΔT – разность температур электролита и окружающей среды, К;

F – площадь поверхности теплоотдачи, м².

Коэффициент теплоотдачи равен 0,19 Вт/м²·°С. Площадь поверхности теплоотдачи складывается из площадей всех поверхностей, стенок, днища, катода: $F = 52,65 \text{ м}^2$. Рассчитаем потери тепла:

$$Q_{\text{потерь}} = 0,19 \cdot 30 \cdot 52,65 \cdot 3600 = 1080378 \text{ Дж.}$$

Рассчитаем общее тепло прихода и расхода тепла:

$$Q_{\text{прих}} = 6067353,6 + 2761850890 = 2767918240 \text{ Дж,}$$

$$Q_{\text{расх}} = 28560000 + 30877365 + 3039889570 + 1080378 = 3100407310 \text{ Дж.}$$

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

$$Q_{\text{нагр}} = Q_{\text{расх}} - Q_{\text{прих}}, \quad (61)$$

$$Q_{\text{нагр}} = 3100407310 - 2767918240 = 332489070 \text{ Дж.}$$

Тепловой баланса процесса электролиза приведен в таблице 3.

Таблица 3 – Таблица теплового баланса

Приход	кДж	Расход	кДж
1. $Q_{\text{Дж}}$	6067,35	1. $Q_{\text{газ}}$	30877,37
2. $Q_{\text{эл-та}}$	2761850,9	2. $Q_{\text{отр}}$	3039889,57
3. $Q_{\text{нагр}}$	332489,07	3. Q_{Cu}	28560,00
		4. $Q_{\text{потерь}}$	1080,38
Итого:	3100407,32	Итого:	3100407,32

Для нагрева электролита до нужной температуры необходимо подобрать теплообменник. Так как в электролите содержится серная кислота, материалом теплообменника может быть выбран полипропилен. Рассчитаем мощность теплообменника:

$$Q_T = G_{\text{эл}} \cdot C_{p_{\text{эл}}} \cdot (T_{\text{вых}} - T_{\text{вх}}), \quad (62)$$

где: Q_T – тепловая мощность теплообменника, Вт;

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

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

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

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

$$Q_T = 2678,6 \cdot 3,46 \cdot (55 - 25) = 278038,68 \frac{\text{кДж}}{\text{ч}} = 77,2 \text{ кВт.}$$

По рассчитанным данным можно подобрать теплообменник мощностью 80 кВт фирмы Calorplast Wärmetechnik GmbH [26].

2.7 Гидравлический расчет

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

Диаметр трубопровода можем рассчитать по формуле [27]:

$$D = \sqrt{\frac{354 \cdot Q}{v}}, \quad (63)$$

где: D – диаметр трубопровода, мм;

Q – расход, м³/ч;

v – скорость потока электролита, м/с.

Расход электролита равен полному объему электролизера за час, то есть 2,42 м³/ч.

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

$$D = \sqrt{\frac{354 \cdot 2,42}{1}} = 29,2 \text{ мм.}$$

Примем стандартный диаметр трубы по ГОСТ 32415-2013 «Трубы напорные из термопластов», с наружным диаметром 40 мм и толщиной стенки 4,5 мм. Условный проход такой трубы составляет 31 мм.

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

$$N = \frac{v \cdot \Delta P}{1000 \cdot \eta}, \quad (64)$$

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

ΔP – давление, сообщаемое насосом перекачиваемому веществу, Па;

η – общий КПД насоса, 0,7.

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

$$\Delta P_{\text{ск}} = \frac{\omega^2 \cdot \rho}{2}, \quad (65)$$

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

ρ – плотность электролита, кг/м³.

Плотность электролита равна 1164 кг/ м³.

$$\Delta P_{\text{ск}} = \frac{1^2 \cdot 1164}{2} = 582 \text{ Па.}$$

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

$$\Delta P_{\text{тр}} = \frac{\lambda \cdot L}{D} \cdot \Delta P_{\text{ск}}, \quad (66)$$

где: λ – коэффициент трения;

L – длина трубы, м;

D – диаметр трубы, м.

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

$$\text{Re} = \frac{\omega \cdot D \cdot \rho}{\mu}, \quad (67)$$

где: ρ – плотность электролита, кг/м³;

μ – вязкость электролита, Па·с.

Так как основным компонентом электролита является вода, то принимаем значение вязкости $0,31 \cdot 10^{-3}$ Па·с.

Критерий Рейнольдса составляет:

$$\text{Re} = \frac{1 \cdot 0,031 \cdot 1164}{0,31 \cdot 10^{-3}} = 116400.$$

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

Коэффициент трения в шероховатых трубах определяется из формулы:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \cdot \lg \left(\frac{0,07}{3,7} + \left(\frac{6,81}{116400} \right)^{0,9} \right) = 3,44,$$

$$\sqrt{\lambda} = \frac{1}{3,44} = 0,29 ,$$

$$\lambda = 0,08.$$

Тогда:

$$\Delta P_{\text{тр}} = \frac{0,08 \cdot 10 \cdot 582}{0,031} = 15019 \text{ Па.}$$

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

$$\Delta P_{\text{п}} = H \cdot \rho \cdot g, \quad (68)$$

где: H – высота трубы, м;

g – ускорение свободного падения, м/с^2 .

$$\Delta P_{\text{п}} = 3 \cdot 1164 \cdot 9,81 = 34256,52 \text{ Па.}$$

Найдем общее давление:

$$\Delta P = 34256,52 + 582 + 15019 = 49857,88 \text{ Па.}$$

Можем рассчитать мощность:

$$N = \frac{0,00242 \cdot 49857,88}{1000 \cdot 0,7} = 0,17 \text{ кВт.}$$

По рассчитанным данным подбирается насос необходимой мощности. В качестве примера подойдет насос DB3P-B, герметичный химический. Максимальная подача насоса составляет 2,5 м³/ч, максимальный напор 4,5 м. Снабжен двигателем мощностью 0,37 кВт. Материал корпуса – полипропилен. Максимальная рабочая температура – 83 °С. Масса – 7 кг. Напряжение – 220/380 В. Данный насос представлен на рисунке 2 [29].



Рисунок 2 – Насос DB3P-B [29]

2.8 Механический расчет

Механический расчет предназначен для расчета прочности проектируемого аппарата, устойчивости к сохранению формы и необходимой долговечности. При механическом расчете необходимо выполнить расчет толщины стенок аппарата.

Так как в растворе содержится серная кислота, материалом корпуса выбран полипропилен, устойчивый в агрессивных средах.

Рассчитаем максимальное внутреннее давление в аппарате [30]:

$$P = \rho \cdot g \cdot h, \quad (69)$$

где: ρ – плотность электролита;

h – высота ванны.

$$P = 1164 \cdot 9,81 \cdot 2,55 = 29118 \text{ Па.}$$

Модуль упругости полипропилена $\sigma=44$ МПа, коэффициент прочности k равен 2,4.

$$\sigma_{\text{п}} = \frac{\sigma}{k}, \quad (70)$$

$$\sigma_{\text{п}} = \frac{44}{2,4} = 18,3 \text{ МПа.}$$

Рассчитаем толщину стенки аппарата по формуле [30]:

$$s = 0,5 \cdot b \cdot \sqrt{\frac{P}{\sigma_{\text{п}}}} + C, \quad (71)$$

где: $\sigma_{\text{п}}$ – допустимое напряжение для полипропилена, Па;

P – давление, Па;

b – длина короткой стороны стенки, м;

s – толщина стенки аппарата, м;

C – прибавка на эрозию.

Размер короткой стенки 1,62 м.

Рассчитаем толщину стенки аппарата:

$$s = 0,5 \cdot 1,62 \cdot \sqrt{\frac{29118}{18,3 \cdot 10^6}} + 0,002 = 0,034 \text{ м} = 34 \text{ мм.}$$

Рассчитаем наибольшее напряжение изгиба:

$$\sigma_{\max} = \frac{0,5 \cdot P \cdot b^2}{s^2 \cdot \left(1 + 0,623 \cdot \left(\frac{b}{a}\right)^6\right)}, \quad (72)$$

$$\sigma_{\max} = \frac{0,5 \cdot 29118 \cdot 1,62^2}{34^2 \cdot \left(1 + 0,623 \cdot \left(\frac{1,62}{3,06}\right)^6\right)} = 32,6 \text{ МПа.}$$

Условием необходимой прочности является:

$$\sigma_{\max} \leq \sigma_{\text{п}}. \quad (73)$$

Условие прочности не выполняется при толщине стенки 34 мм, следовательно, необходимо увеличить толщину стенки.

При толщине стенки 46 мм, максимальное напряжение изгиба будет составлять 17,8 МПа, что соответствует условию прочности.

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

Рассчитаем массу анода:

$$m = V_a \cdot \rho. \quad (74)$$

Объем анода равен:

$$V_a = S_a \cdot h_a. \quad (75)$$

$$V_a = 9,67 \cdot 0,01 = 0,0967 \text{ м}^3.$$

Плотность свинца 11340 кг/м³.

$$m_a = 11340 \cdot 0,097 = 1099,98 \text{ кг.}$$

Рассчитаем массу катода. Катод представляет собой полый цилиндр с толщиной стенки 25 мм, закрытый по бокам стальными щеками. Объем рассчитан по формуле объема полого цилиндра.

$$V_k = V_{k(D)} - V_{k(D-\delta)}, \quad (76)$$

$$V_k = 0,37 \text{ м}^3,$$

$$m_k = 0,37 \cdot 7800 = 2886 \text{ кг.}$$

Массу корпуса примем 200 кг. Масса электролита 2678,6 кг.

Рассчитаем общую массу аппарата:

$$m_{\text{апп}} = 2678,6 + 200 + 1099,98 + 2886 = 6864,58 \text{ кг.}$$

Нагрузка на опору рассчитывается по формуле [30]:

$$P_{\text{оп}} = m_{\text{апп}} \cdot g. \quad (77)$$

Нагрузка на опоры составляет:

$$P_{\text{оп}} = 6864,58 \cdot 9,8 = 67,3 \text{ кН.}$$

Аппарат стоит на четырех опорах. Следовательно, каждая из опор должна выдерживать минимум 16 кН или 1716,15 кг.

Рассчитаем нагрузку, приходящуюся на одну опору:

$$Q = \frac{G_{\text{max}}}{n}, \quad (78)$$

где: G_{max} – максимальный вес аппарата, кг;

n – количество опор.

$$Q = \frac{G_{\text{max}}}{n} = \frac{6864,58}{4} = 1716,15 \text{ кг.}$$

Определим площадь подошвы опоры:

$$F = \frac{Q}{q_{\text{уд}}}, \quad (79)$$

где: $q_{\text{уд}}$ – удельное давление для бетонного фундамента $\sim 20 \text{ кг/см}^2$.

$$F = \frac{Q}{q_{\text{уд}}} = \frac{1716,15}{20} = 85,8 \text{ см}^2.$$

Каркас и опора для аппарата выполняется из квадратных профильных труб, изготовленных из стали ст3, соответствующей ГОСТ 13663–86 [31].

Каждая опора представляет собой квадратные трубы 60 на 60 мм с толщиной стенки 5 мм, соединенные между собой в основании трубой того же сечения [32].

3 Результаты расчетов

В ходе расчета участка непрерывного получения медной фольги был рассчитано, что для производительности 80 тонн в год на участке потребуется 4 электролизера. Рассчитав материальный баланс, получено что приход электролита на 1 электролизер составляет 2679,35 кг/час.

В результате расчета теплового баланса получили, что для нагрева электролита до необходимой температуры необходимо затратить 332489,07 кДж тепла. При этом потери тепла в ходе процесса составляют 1080,38 кДж.

Согласно аппаратному расчёту барабанного электролизера, ванна имеет следующие габариты: длина 3,06 м, ширина 1,62 м, высота 2,55м, диаметр барабан-катода 3 м. Толщина стенки 46 мм. Для вращения барабан катода необходим мотор-редуктор мощностью 1,7 кВт и передаточным числом 30000. Для циркуляции электролита используется 10 насосов мощностью 0,37 кВт.

В качестве источника тока выбран агрегат типа ТВ1-2500/15Т-0 УХЛ-4 с номинальным постоянным током 2500 А и номинальным постоянным напряжением 15 В.

4 План размещения оборудования

4.1 Подбор основного технологического оборудования

Подбор оборудования осуществлен в соответствии с заданными и рассчитанными технологическими параметрами процесса.

Для перекачивания электролита выбран насос DV3P-B. Для нагрева раствора электролита до необходимой температуры выбран теплообменник Calorplast Wärmetechnik GmbH, мощностью 80 кВт. Для обеспечения необходимой силы тока в 2112 А выбран агрегат типа ТВ1-2500/15Т-0 УХЛ-4.

Для отмывки и сушки фольги после съема с барабана выбрано устройство НТО 33.00.00.000 [33].

Для смотки фольги в рулон используется устройство BRJ-1400(II) [34].

Для работы участка необходим агитатор, а также сборный бак.

4.2 Геометрия и габариты основного оборудования

Необходимые для компоновки участка непрерывного получения медной фольги габаритные размеры аппаратов, приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Габаритные размеры оборудования

Оборудование	Высота, мм	Длина, мм	Ширина/ диаметр, мм
Теплообменник	900	1025	1000
Источник тока	1550	1000	600
Насос	160	300	160
Агитатор	2500	-	1400
Сборный бак	2500	-	2300
Устройство отмывки	1600	2500	1500
Сматывающее устройство	1700	2000	1600
Электролизная ванна	3350	3250	3000
Бункеры подачи (CuSO ₄ , H ₂ SO ₄)	2300	-	1500

Все оборудование, используемое на участке расположено на нулевом уровне. Проектируем одноэтажное здание высотой 9000 мм. С учетом производственных помещений длина проектируемого участка – 30000 мм, ширина – 30000 мм.

Для обслуживания оборудования, к нему 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.

4.3 Энергетический расчет технологической схемы

Исходя из данных, полученных при подборе необходимого оборудования, составлена таблица 5, в которой отражено энергопотребление основного и вспомогательного оборудования участка получения медной фольги.

Таблица 5 – Энергопотребление основного и вспомогательного оборудования

Наименование	Количество, шт	Потребление, кВт/ч
Электродвигатель агитатора смешения реагентов	2	5,5
Электродвигатель барабан-катода	4	1,7
Привод устройства промывки и сушки фольги	4	5
Электродвигатель устройства намотки фольги	4	15
Насос	10	0,37

Энергопотребление аппаратов участка непрерывного получения медной фольги электролизом водных растворов составляет 134,8 кВт/ч или 1,18 ГВт/год

4.4 План размещения оборудования

Согласно единым правилам безопасности, минимальное расстояние между смежными габаритами машин и аппаратов, и от стен до габаритов оборудования должны составлять [35]:

- на основных проходах не менее 1,5 м;
- на рабочих проходах между стеной и аппаратами не менее 0,5 м;
- на рабочих проходах (между аппаратами) не менее 1,5 м.

На участке непрерывного получения медной фольги располагаются:

- машинный зал;
- склад-хранения запасных деталей и ремонтных комплектов;
- уборная;
- кабинет начальника участка;
- кабинет технолога участка;
- комната отдыха;
- операторская.

При проектировании участка планируется однопролетной здание с толщиной стен 200 мм и толщиной пола 150 мм. Наружные стены монтируются из панелей, прикрепленных к каркасу и представляющих собой самонесущие стены. Длина панелей 6 м, а ширина 3 м. На расстоянии 1,5 м от потолка монтируется кран-балка для поднятия и перемещения тяжелых грузов.

5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Участок по производству медной фольги будет являться элементом цеховой производственной структуры. Т.к. в процессе работы будет происходить непрерывное изготовление большого объема однотипной продукции, по своему типу производство является массовым [36].

Целью экономического расчета является обоснование финансово-экономической целесообразности проекта участка электролитического получения медной фольги из водных растворов.

На основании цели были поставлены задачи:

- провести расчет численности основных и вспомогательных рабочих, а также специалистов, руководителей и служащих;
- провести расчет фонда заработной платы;
- рассчитать капитальные затраты на строительство и комплектацию участка оборудованием;
- рассчитать затраты на содержание и эксплуатацию здания;
- определить себестоимость производства и срок окупаемости;
- провести расчет точки безубыточности;
- сделать вывод о рентабельности производства.

5.1 Расчет производственной мощности

$$M = P_{\text{час}} \cdot T_{\text{эфф}} \cdot n, \quad (80)$$

где: M – производственная мощность, тонн/год;

$P_{\text{час}}$ – часовая производительность ведущего оборудования, $P_{\text{час}}=2,42$ кг/час;

$T_{\text{эфф}}$ – эффективное время работы оборудования, м;

n – количество однотипного оборудования, $n = 4$ на участке электролиза 4 электролизера.

$$T_{\text{эфф}} = T_{\text{н}} - T_{\text{пр}} - T_{\text{то}}, \quad (81)$$

где: $T_{\text{н}}$ – нормальный фонд работы оборудования;

$T_{\text{пр}}$ – время простоя в ремонтах за расчетный период;

$T_{\text{то}}$ – время технологических остановок.

За номинальный фонд работы оборудования принимаем 1 год (365 дней, 8760 часов).

На предприятиях химической промышленности система планово-предупредительных ремонтов (ППР) предусматривает проведение следующих категорий ремонта [36]:

- технический осмотр;
- текущий;
- капитальный.

Расчёт осуществляется для основных аппаратов.

$T_{\text{эфф}}$ работы вспомогательного оборудования принимаем по основному аппарату.

Основной аппарат – электролизер для непрерывного получения медной фольги из растворов.

Определяем количество ремонтов за ремонтный цикл:

$$R = \frac{P_{\text{ц}}}{T_{\text{то}}}, \quad (82)$$

где: R – количество всех ремонтов за ремонтный цикл;

$P_{\text{ц}}$ – длительность ремонтного цикла;

$T_{\text{то}}$ – пробег оборудования между техническими осмотрами;

$T_{\text{р}}$ – время между ремонтными циклами:

- между техническими осмотрами 730 часов;
- между текущими 0,5 года = 182,5 дня = 4380 часов;
- между капитальным 5 лет = 1825 дней = 43800 часов.

Длительность ремонтного цикла составляет 5 лет.

Найдём количество текущих ремонтов за ремонтный цикл:

$$R_T = \frac{T_K}{T_T} - 1, \quad (83)$$

где: T_T – пробег оборудования между текущими ремонтами.

$$R_T = \frac{T_K}{T_T} - 1 = \frac{43800}{4380} - 1 = 9 \text{ текущих ремонтов.}$$

Определим количество технических осмотров:

$$R_{TO} = \frac{T_K}{T_{TO}} - R_T - 1, \quad (84)$$

где: R_T – число текущих ремонтов.

$$R_{TO} = \frac{T_K}{T_{TO}} - R_T - 1 = \frac{43800}{730} - 9 - 1 = 50 \text{ технических осмотров.}$$

Всего ремонтов в течение расчётного цикла:

$$\frac{R}{T} = \frac{59}{5} = 12$$

Таким образом, в расчётный период на участке производится 2 текущих ремонта и 10 технических осмотров. Тогда время на ремонт оборудования в расчётный период:

$$T_{рем} = 12 \cdot T_{TO} + T_T, \quad (85)$$

где: T_{TO} , T_T – время простоя оборудования при техническом осмотре и текущем ремонте.

Время простоя при ремонте:

- 8 часов при техническом осмотре;
- 3 дня при текущем, 72 часа;
- дней при капитальном ремонте, 120 часов.

Время простоя в расчётном периоде:

$$T_{рем} = 12 \cdot 8 + 72 = 168 \text{ часов.}$$

Также учитывается время технологических остановок, которое включает в себя время пускового периода: $T_{п} = 24$ часа

$$T_{эфф} = 8760 - 168 - 24 = 8568 \text{ часов.}$$

Определим производственную мощность:

$$T_{\text{эфф}} = 2,42 \cdot 4 \cdot 8568 = 82938,24 \text{ кг/год} = 82,9 \text{ тонн/год.}$$

5.2 Определение баланса времени одного рабочего

Баланс времени одного рабочего показывает число дней, которые должен отработать один работник в год. Баланс зависит от продолжительности работы участка, продолжительности рабочего дня и от принятого режима работы участка. Участок будет работать в 3 смены продолжительностью по 8 часов. Работа будет производиться четырьмя производственными бригадами. График сменности рабочих бригад приведен в Приложении Г [36].

Помимо этого, также предусмотрена ремонтная бригада, которая осуществляет все виды работ по ремонту оборудования. Таким образом, число бригад $n_{\text{б}}$ равно четырём, число дней, в которые бригада ходит в смену $T_{\text{н}}$ составит 4 дня. Рассчитаем длительность сменоборота:

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

За длительность сменоборота бригада отдыхает 4 дня, за год 91 день. Таким образом, на одного среднесуточного рабочего приходится 91 выходной день. Составим баланс рабочего времени среднесуточного рабочего, с целью определения фонда рабочего времени. Баланс представлен в Приложении Д.

Эффективный фонд рабочего времени составит:

$$T_{\text{эф}} = 209 \cdot 8 = 1672 \text{ часа.}$$

5.3 Расчет численности основных рабочих

Число рабочих мест определяется, учитывая объем работы на управление каждым участком, количество необходимых точек наблюдения и операций обслуживания процесса.

Явочное число основных рабочих в сутки [37]:

$$R_{\text{яв}} = \frac{F \cdot C}{H_{\text{обс}}}, \quad (86)$$

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

F – количество установок;

C – количество смен в сутки.

Учитывая, что основная работа производственных рабочих заключается в наблюдении за ходом процесса, а также уровень автоматизации оборудования один рабочий может обслуживать 2 аппарата.

$$R_{\text{яв}} = \frac{4 \cdot 3}{2} = 6 \text{ рабочих.}$$

Определим списочное число основных рабочих:

$$R_{\text{с}} = \frac{T_{\text{эф.обор.}}}{T_{\text{эф. раб.}}}, \quad (87)$$

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

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

$$R_{\text{с}} = 6 \cdot \frac{355}{209} = 10 \text{ чел.}$$

Основными рабочими являются аппаратчики и операторы, которые ведут процесс получения медной фольги.

Состав основных рабочих представлен в таблице 6.

Таблица 6 – Численность основных рабочих

Профессия	Разряд	Число рабочих в смену	$R_{\text{яв}}$ в сутки	$R_{\text{сп}}$ в сутки	Число рабочих дней в году	Число рабочих дней оборуд.	Число смен в сутки
Аппаратчик	5	2	6	10	209	355	3
Оператор	6	1	3	5			

5.4 Расчет численности вспомогательного персонала

С учетом специфики и приборного оформления комплектуем участок дежурным обслуживающим персоналом, основная задача которого заключается в экстренном ремонте основного оборудования, без остановки работы участка.

В состав дежурного обслуживающего персонала входят:

- дежурный слесарь (разряд 5) – 1;
- дежурный электрик (разряд 5) – 1;
- дежурный КИПиА (разряд 5) – 1

Списочное число рабочих дежурного персонала [37]:

$$K = \frac{T_{\text{раб.об.}}}{T_{\text{раб.дн.}}}, \quad (88)$$

$$K = \frac{355}{209} = 1,66.$$

$$R_{\text{яв}} = 3 \cdot 3 = 9;$$

$$R_{\text{яв}} = 9 \cdot 1,66 = 15.$$

В таблице 7 представлена информация о численности персонала, должности, разряде рабочего, количестве смен с в сутки.

Таблица 7 – Численность вспомогательного персонала

Профессия	Разряд	Число рабочих в смену	Число смен в сутки	$R_{\text{яв}}$ в сутки	$R_{\text{сп}}$ в сутки	Число рабочих дней в году	Число рабочих дней оборуд.
Дежурный слесарь	5	1	3	3	5	209	355
Дежурный электрик	5	1	3	3	5	209	355
Дежурный КИПиА	5	1	3	3	5	209	355

5.5 Расчет численности специалистов, руководителей и служащих

Численность руководителей, специалистов и служащих представлена в таблице 8.

Таблица 8 – Численность руководителей, специалистов и служащих

Наименование должности	Категория	Количество работников
Начальник участка	Руководитель	1
Технолог участка	Специалист	1
Уборщица	Служащий	2
Итого:		4

5.6 Расчет годового фонда заработной платы

5.6.1 Расчет фонда заработной платы основных рабочих

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

Основной фонд (ЗП) [38]:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{тар}} + D_{\text{пр}} + D_{\text{н.вр.}} + D_{\text{праз.}} + D_{\text{вред.}} \quad (89)$$

где: $Z_{\text{тар}}$ – тарифный фонд;

$D_{\text{пр}}$ – доплата премий;

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

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

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

Тарифный фонд рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{тар}} = Z_{\text{тар}}^5 + Z_{\text{тар}}^6 \quad (90)$$

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

$$Z_{\text{тар}}^i = R_{\text{сп}}^i \cdot T_{\text{эф}} \cdot T_{\text{ст}}^i \quad (91)$$

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-го разряда – 200 руб/час, 5-го разряда 180 руб/час.

$$З_{\text{тар}}^5 = 3 \cdot 1672 \cdot 180 = 1805760 \text{ руб/год,}$$

$$З_{\text{тар}}^6 = 3 \cdot 1672 \cdot 200 = 1003200 \text{ руб/год,}$$

$$З_{\text{тар}} = 1003200 + 1805760 = 2808960 \text{ руб/год.}$$

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

$$D_{\text{н.вр.}} = R_{\text{сп}}^i \cdot n_{\text{н.вр}} \cdot T_{\text{ст}}^i \cdot t_{\text{см}} \cdot \Pi, \quad (92)$$

где: $n_{\text{н.вр}}$ – количество ночных смен в году;

$t_{\text{см}}$ – продолжительность смены, час;

Π – процентное отчисление.

$$D_{\text{н.вр}}^5 = 6 \cdot 81 \cdot 180 \cdot 8 \cdot 0,4 = 279936 \text{ руб/год,}$$

$$D_{\text{н.вр}}^6 = 3 \cdot 81 \cdot 200 \cdot 8 \cdot 0,4 = 155520 \text{ руб/год,}$$

$$D_{\text{н.вр.}} = 155520 + 279936 = 435456 \text{ руб/год.}$$

Доплата премий осуществляется в размере 30% от тарифной ЗП:

$$D_{\text{пр.}} = З_{\text{тар}} \cdot 0,3, \quad (93)$$

$$D_{\text{пр.}} = 2808960 \cdot 0,3 = 842688 \text{ руб/год.}$$

Расчет доплаты за работу в праздничные дни осуществляется по формуле с учетом двойной тарифной ставки:

$$D_{\text{празд}} = D_{\text{празд}}^5 + D_{\text{празд}}^6; \quad (94)$$

$$D_{\text{пр}}^i = 2 \cdot R_{\text{яв}} \cdot N \cdot T_{\text{ст}}^i \cdot t_{\text{см}}, \quad (95)$$

где: N – число праздничных дней в году.

$$D_{\text{празд}}^5 = 6 \cdot 2 \cdot 180 \cdot 15 \cdot 8 = 259200 \text{ руб/год;}$$

$$D_{\text{празд}}^6 = 3 \cdot 2 \cdot 180 \cdot 8 \cdot 0,4 = 144000 \text{ руб/год;}$$

$$D_{\text{празд}} = 259200 + 144000 = 403200 \text{ руб/год.}$$

Доплата за вредность составляет 20% от тарифной ЗП:

$$D_{\text{вред}} = З_{\text{тар}} \cdot 0,2, \quad (96)$$

$$D_{\text{вред}}=2808960 \cdot 0,2=561792 \text{ руб/год.}$$

$$Z_{\text{осн}}=2808960+842688+435456+403200+561792=5052096 \text{ руб/год.}$$

Размер отчислений на социальные нужды составляет 30 % от основной ЗП:

$$Z_{\text{соц}}=5052096 \cdot 0,3=1515628,8 \text{ руб/год.}$$

5.6.2 Расчет фонда дополнительной заработной платы

$$Z_{\text{доп}}=Z_{\text{осн}} \cdot \frac{P_{\text{д.з.}}}{100}, \quad (97)$$

где: $P_{\text{д.з.}}$ – процент доплаты (11%).

$$Z_{\text{доп}}=5052096 \cdot 0,11=555730,56 \text{ руб/год.}$$

Годовой фонд заработной платы основных рабочих:

$$Z=Z_{\text{осн}}+Z_{\text{доп}}+Z_{\text{соц}}=5052096+555730,56+1515628,8=7123455,36 \text{ руб/год.}$$

Расчет годового фонда заработной платы основных рабочих приведен в Приложении Е.

5.6.3 Расчет фонда заработной платы вспомогательных рабочих

$$Z_{\text{осн}}=Z_{\text{тар}}+D_{\text{пр}}+D_{\text{н.вр.}}+D_{\text{праз.}}+D_{\text{вред.}} \quad (98)$$

где: $Z_{\text{тар}}$ – тарифный фонд;

$D_{\text{пр}}$ – доплата премий;

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

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

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

Тарифный фонд вспомогательных рабочих рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{тар}}^i=R_{\text{сп}}^i \cdot T_{\text{эф}} \cdot T_{\text{ст}}^i, \quad (99)$$

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

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

$T_{\text{ст.}}$ – тарифная часовая ставка вспомогательного рабочего 5-го разряда – 130 руб/час [38].

$$З_{\text{тар}}^5 = 9 \cdot 1672 \cdot 130 = 1956240 \text{ руб/год.}$$

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

$$Д_{\text{н.вр.}} = R_{\text{сп}}^i \cdot n_{\text{н.вр.}} \cdot T_{\text{ст}}^i \cdot t_{\text{см}} \cdot П, \quad (100)$$

где: $n_{\text{н.вр.}}$ – количество ночных смен в году;

$t_{\text{см}}$ – продолжительность смены, час;

$П$ – процентное отчисление.

$$Д_{\text{н.вр.}} = 9 \cdot 81 \cdot 130 \cdot 8 \cdot 0,4 = 303264 \text{ руб/год,}$$

Доплата премий осуществляется в размере 30% от тарифной ЗП:

$$Д_{\text{пр.}} = З_{\text{тар}} \cdot 0,3, \quad (101)$$

$$Д_{\text{пр.}} = 1956240 \cdot 0,3 = 586872 \text{ руб/год.}$$

Расчет доплаты за работу в праздничные дни осуществляется по формуле с учетом двойной тарифной ставки:

$$Д_{\text{празд}}^i = 2 \cdot R_{\text{яв}} \cdot N \cdot T_{\text{ст}}^i \cdot t_{\text{см}}, \quad (102)$$

где: N – число праздничных дней в году – 15.

$$Д_{\text{празд}} = 9 \cdot 2 \cdot 130 \cdot 15 \cdot 8 = 280800 \text{ руб/год.}$$

Доплата за вредность составляет 20% от тарифной ЗП:

$$Д_{\text{вред}} = З_{\text{тар}} \cdot 0,2, \quad (103)$$

$$Д_{\text{вред}} = 1956240 \cdot 0,2 = 391248 \text{ руб/год.}$$

$$З_{\text{осн}} = 1956240 + 303264 + 586872 + 280800 + 391248 = 3518424 \text{ руб/год.}$$

Размер отчислений на социальные нужды составляет 30 % от основной ЗП:

$$З_{\text{соц}} = 3518424 \cdot 0,3 = 1055527,2 \text{ руб/год.}$$

5.6.4 Расчет фонда дополнительной заработной платы

$$З_{\text{доп}} = 3518424 \cdot 0,11 = 387026,64 \text{ руб/год.}$$

Годовой фонд заработной платы вспомогательных рабочих:

$$З = З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}} + З_{\text{соц}} = 3518424 + 1055527,2 + 387026,64 = 4960977,84 \text{ руб/год.}$$

Расчет годового фонда заработной платы вспомогательных рабочих приведен в Приложении Ж.

5.6.5 Расчет годового фонда 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 – 13000 руб.

Фонд ЗП вычисляем путем умножения числа штатных единиц на их месячный оклад и на число месяцев работы в году. Число месяцев работы в году для руководителей и специалистов принимаем равным 11 месяцев, для служащих – 11,3 месяца.

$$\Phi_{\text{осн}} = 1 \cdot 11 \cdot 50000 + 1 \cdot 11 \cdot 48000 + 2 \cdot 11,3 \cdot 13000 = 1371800 \text{ руб/год.}$$

Основная ЗП вычисляется по формуле:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{тар}} + D_{\text{праз.}} + D_{\text{вред.}}, \quad (104)$$

$$D_{\text{праз.}} = \frac{T_{\text{окл}}}{27} \cdot N \cdot P_{\text{яв.}} \quad (105)$$

где: 27 – среднемесячное количество рабочих часов;

N – количество праздничных дней – 15.

$$D_{\text{празд}}^{\text{н.уч.}} = \frac{50000}{27} \cdot 15 \cdot 1 = 27777,78 \text{ руб/год;}$$

$$D_{\text{празд}}^{\text{техн}} = \frac{48000}{27} \cdot 15 \cdot 1 = 26666,68 \text{ руб/год;}$$

$$D_{\text{празд}}^{\text{убор}} = \frac{13000}{27} \cdot 15 \cdot 2 = 14444,44 \text{ руб/год.}$$

$$D_{\text{вред}} = Z_{\text{тар}} \cdot 0,2 \cdot P_{\text{яв.}}, \quad (106)$$

$$D_{\text{вред}}^{\text{н.уч.}} = 0,2 \cdot 50000 \cdot 1 = 10000 \text{ руб/год;}$$

$$D_{\text{вред}}^{\text{техн}} = 0,2 \cdot 48000 \cdot 1 = 9600 \text{ руб/год;}$$

$$D_{\text{вред}}^{\text{убор}} = 0,2 \cdot 13000 \cdot 2 = 5200 \text{ руб/год.}$$

$$Z_{\text{осн}} = 1371800 + 27777,78 + 26666,67 + 14444,44 + 10000 + 9600 + 5200 = 1465488,89 \text{ руб/год.}$$

$$Z_{\text{соц}} = 1465488,89 \cdot 0,3 = 439646,67 \text{ руб/год.}$$

Дополнительная ЗП принимается в размере 11 % от основной ЗП:

$$Z_{\text{доп}} = 1465488,89 \cdot 0,11 = 161203,78 \text{ руб/год.}$$

Годовой фонд заработной платы:

$$Z = 1465488,89 + 439646,67 + 161203,78 = 2066339,34 \text{ руб/год.}$$

Общий фонд заработной платы:

$$\Phi_{\text{общ}} = Z_{\text{осн.раб}} + Z_{\text{всп.раб}} + Z_{\text{ИТР и МОП}}, \quad (107)$$

$$\Phi_{\text{общ}} = 7123455,36 + 496097,84 + 2066339,34 = 14150772,50 \text{ руб/год.}$$

В таблице 9 приведены результаты расчетов заработной платы руководителей, специалистов и служащих.

Таблица 9 – Результаты расчетов основной и дополнительной заработной платы руководителей, специалистов и прочего персонала

Категория	Наим-е должности	Число ед.	Z _{тар} , руб/год	Z _{осн} , руб/год	Z _{доп} , руб/год	Z _{год} , руб/год
Руководители, специалисты	Начальник участка	1	550000	587777,78	64635,56	652433,34
	Технолог участка	1	528000	564266,67	62069,33	626336
Служащие	Уборщица	2	293800	313444,44	34478,89	347923,33
Итого		4	1371800	1465488,89	161203,78	1626692,67

5.7 Расчет капитальных затрат

Величина капитальных затрат необходимых для строительства участка и его сооружения определяется по укрупнённым параметрам. Укрупнённым параметром является стоимость 1мз здания, согласно действующим ценам на строительные материалы, учитывая характер здания, его размеры и назначение.

Участок будет находиться в однопролетном здании со следующими габаритами: длина 30 м, ширина 30 м, высота 9 м.

Следовательно, объём здания:

$$V_{зд} = 30 \cdot 30 \cdot 9 = 8100 \text{ м}^3.$$

Материалом, из которого будет изготовлены стены и кровля здания, являются панели из пенобетона толщиной 200 мм, длиной 6000 мм и шириной 3000 мм.

Стоимость производственной части такого здания с учетом всех конструкций и монтажа составляет 10000 рублей за 1м^3 , стоимость вспомогательной части здания составляет 5000 рублей за 1м^3 [39].

Стоимость здания:

$$C_{зд} = C_{пр} + C_{всп}. \quad (108)$$

Принимаем, что производственная часть составляет 85 % от общего объёма здания.

$$C_{пр} = 0,85 \cdot 8100 \cdot 10000 = 68850000 \text{ руб};$$

$$C_{всп} = 0,15 \cdot 8100 \cdot 5000 = 6075000 \text{ руб};$$

$$C_{зд} = 68850000 + 6075000 = 74925000 \text{ руб}.$$

Проведем расчет стоимости оборудования:

В таблице 10 приведена стоимость материалов для изготовления 1 электролизера.

Таблица 10 – Стоимость материалов

Изделие	Количество	Цена, руб.	Стоимость, руб.
Барaban катод	1	30000	30000
Свинцовый анод	1	18000	18000
Ванна из полипропилена	1	50000	50000
Мотор-редуктор	1	20000	20000
Катодный вал	1	45000	45000
Провода (м)	10	200	2000
Подшипник	2	5000	10000
Сумма			175000

Зная затраты на материалы можно рассчитать затраты на сборку электролизеров.

$$C_{\text{эл}} = C_{\text{мат}} \cdot R_c \quad (109)$$

где: R_c – коэффициент, учитывающий стоимость электролизера с учетом сборки, $R_c = 1,5$.

$$C_{\text{эл}} = 175000 \cdot 1,5 = 262000 \text{ руб.}$$

В таблице 11 приведен общий расчет стоимости оборудования.

Таблица 11 – Расчет стоимости оборудования

Наименование	Количество	Цена за единицу в тыс. руб.
Электролизер	4	262
Насосы	10	30
Трубопроводы	80 м	1
Агитатор	2	100
Запорно-регулирующая арматура	18	5
Теплообменник	4	50
Сборный бак	2	40
Линия отмывки	4	50
Источник питания	4	400

$$C_{\text{об}} = 4 \cdot 262000 + 10 \cdot 30000 + 80 \cdot 1000 + 2 \cdot 100000 + 18 \cdot 5000 + 4 \cdot 50000 + 2 \cdot 40000 + 4 \cdot 50000 + 4 \cdot 400000 = 3798000 \text{ руб.}$$

Транспортные расходы на перевозку оборудования определяются в размере 10 % от $C_{\text{об}}$:

$$C_{\text{тр}} = 3798000 \cdot 0,1 = 379800 \text{ руб.}$$

Стоимость монтажных работ определяются в размере 20% от $C_{\text{об}}$:

$$C_{\text{мон}} = 3798000 \cdot 0,2 = 759600 \text{ руб.}$$

Капитальные затраты на оборудование:

$$C_{\text{кап}} = C_{\text{об}} + C_{\text{тр}} + C_{\text{мон}} \quad (110)$$

$$C_{\text{кап}} = 3798000 + 379800 + 759600 = 4937400 \text{ руб.}$$

В таблице 12 представлены капитальные затраты.

Таблица 12 – Капиталовложения

Наименование	Капитальные затраты, руб.	%
Здание	74925000	93,82
Оборудование	4937400	6,18
Итого	79862400	100

5.8 Расходы на содержание и эксплуатацию здания

Затраты на содержание здания составляют 2 % от стоимости здания:

$$З_{\text{сод. зд.}} = 74925000 \cdot 0,02 = 1498500 \text{ руб/год.}$$

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

$$З_{\text{т.р. зд.}} = 74925000 \cdot 0,02 = 1498500 \text{ руб/год.}$$

Амортизационные отчисления на здание:

$$A_{\text{зд}} = C_{\text{зд}} \cdot \frac{1}{\alpha} \quad (111)$$

где: α – срок полезного использования здания $\alpha=30$ лет.

$$A_{\text{зд}} = 74925000 \cdot \frac{1}{30} = 2497500 \text{ руб/год.}$$

Таким образом, сумма затрат на содержание и эксплуатацию здания:

$$\sum Z_{\text{зд}} = 1498500 + 1498500 + 2497500 = 5494500 \text{ руб/год.}$$

Проведем расчет для оборудования:

Ремонтный фонд составляет 15 % от стоимости оборудования:

$$З_{\text{т.р. об}} = 4937400 \cdot 0,15 = 740610 \text{ руб.}$$

Расходы на содержание оборудования составляют 5 % от его стоимости:

$$З_{\text{сод. об}} = 4937400 \cdot 0,05 = 246870 \text{ руб/год.}$$

Отчисления на амортизацию оборудования.

Амортизация оборудования составляет 10 % от стоимости оборудования:

$$A_{\text{об}} = 4937400 \cdot 0,1 = 493740 \text{ руб/год.}$$

Сумма расходов на содержание и эксплуатацию оборудования:

$$\sum Z_{\text{зд}} = 740610 + 246870 + 493740 = 1484220 \text{ руб/год.}$$

5.9 Расходы на технологические нужды

Затраты на электроэнергию рассчитываются по формуле:

$$Z_{эл} = C_{эл} \cdot W \cdot T_{р.об}, \quad (112)$$

где: $C_{эл}$ – стоимость 1 кВт·ч электроэнергии, руб. (3,31 руб);

W – потребляемая мощность, кВт;

$T_{р.об}$ – время работы оборудования в год ($355 \cdot 24 = 8520$ ч.).

Общее количество электроэнергии затрачиваемое всеми 6 электролизерами:

$$W_{общ} = I_{об} \cdot U_{ист}, \quad (113)$$

где: $I_{общ}$ – сила тока на всех электролизерах;

W – напряжение на всех электролизерах.

$$I_{общ} = \frac{P \cdot 10^6}{300 \cdot 24 \cdot g \cdot \eta}, \quad (114)$$

где: P – годовая производительность, т;

g – электрохимический эквивалент, г/А·час;

η – коэффициент выхода по току.

$$I_{общ} = \frac{80 \cdot 10^6}{300 \cdot 24 \cdot 1,185 \cdot 0,95} = 9869,96 \text{ А} \cdot \text{час/час}.$$

Также для циркуляции электролита используется 10 насосов мощностью 0,37 кВт/ч. Для вращения барабан-катода используется мотор-редуктор мощностью 1,7 кВт/ч.

$$Z_{эл} = 3,31 \cdot (16,04 + 10 \cdot 0,37 + 4 \cdot 1,7) \cdot 8520 = 748459,85 \text{ руб/год}.$$

Затраты на освещение:

$$W_{осв} = \frac{15 \cdot S_{п} \cdot M \cdot n}{1000}, \quad (115)$$

где: 15 – количество Ватт на 1 м² пола;

$S_{п}$ – площадь пола, м²;

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

n – число дней работы производства в году.

$$W_{\text{осв}} = \frac{15 \cdot 900 \cdot 24 \cdot 355}{1000} = 115020 \text{ кВт/год.}$$

$$Z_{\text{осв}} = 115020 \cdot 3,31 = 380716,2 \text{ руб/год.}$$

Затраты на вентиляцию:

В помещении установлена используется приточно-вытяжная вентиляция.

$$W_{\text{в}} = P_{\text{дв}} \cdot 24 \cdot n, \quad (116)$$

где: $P_{\text{дв}}$ – мощность электродвигателя вентиляции, кВт.

На участке будет установлено 4 вентилятора, ($P_{\text{дв}} = 4 \text{ кВт}$).

$$W_{\text{в}} = 4 \cdot 4 \cdot 24 \cdot 355 = 136320 \text{ кВт/год.}$$

$$Z_{\text{в}} = 136320 \cdot 3,31 = 451219,2 \text{ руб/год.}$$

Затраты на ОТ и ТБ.

Затраты, связанные с организацией труда и техникой безопасности, принимаются равными 12 % от полного годового фонда заработной платы:

$$Z_{\text{ОТ и ТБ}} = 14150772,5 \cdot 0,12 = 1698092,7 \text{ руб/год.}$$

5.10 Калькуляция себестоимости производства

Таблица 13 – Себестоимость участка

Статьи	Ед. изм.	Цена, руб	Норма в год	Сумма руб/год
Электроэнергия на тех. нужды	МВт	3100	236,5	1580395,25
Итого условно-переменные затраты				1580395,25
Фонд ЗП	руб			14150772,50
Расходы на содержание и эксплуатацию обор-ия	руб			1484220
Расхода на содержание и эксплуатацию здания	руб			5494500
Расходы на ОТ и ТБ	руб			1698092,70
Итого условно-постоянные затраты				22872585,20
Итого себестоимость				24407980,50

Таким образом можно рассчитать удельную себестоимость килограмма медной фольги. Для этого необходимо разделить себестоимость производства на годовую производительность:

$$C_{\text{уд}} = \frac{24407980,5}{80000} = 305,1 \text{ руб/кг}$$

Применение данной технологии позволяет увеличить годовую производительность производства за счет непрерывности процесса, что в значительной мере снизит себестоимость получаемого конечного продукта, а также приведет к уменьшению количества основных рабочих за счет автоматизации процесса.

Таблица 14 – Основные технико-экономические показатели

Показатель	Ед. измерения	Значение
Годовой выпуск продукции:		
а) в натуральном выражении	т/год	80
б) в оптовых ценах	руб/год	40000000
в) по себестоимости	руб/год	24407980,50
Численность персонала:		
а) основного	чел.	9
б) дополнительного	чел.	9
в) руководителей и служащих	чел.	4
Заработная плата всего персонала	руб/год	14150772,50
Капитальные затраты:		
а) здание	руб.	74925000
б) оборудование	руб.	4937400
Себестоимость единицы продукции	руб/кг	305,1
Оптовая цена единицы продукции	руб/кг	500
Чистая прибыль	руб/год	15592019,5
Срок окупаемости капиталовложений	лет	5,12

5.11 Расчет точки безубыточности

Точка безубыточности — минимальный объем производства и реализации продукции, при котором расходы будут компенсированы доходами, а при производстве и реализации каждой последующей единицы продукции предприятие начинает получать прибыль.

Рассчитывается по формуле:

$$BEP = \frac{TFC}{(P - VC)/P}, \quad (117)$$

где: BEP – точка безубыточности;

TFC – величина постоянных издержек;

P – стоимость единицы продукции (24 ч);

VC – величина переменных издержек на единицу продукции.

$$BEP = \frac{22872585,2}{(500 - 19,8)/500} = 23815686,4 \text{ руб.}$$

Определим рентабельность производства:

$$R_{ПВ} = \frac{\text{Чистая прибыль}}{\text{Себестоимость продукции}} \cdot 100 = \frac{15592019,5}{24407980,50} \cdot 100 = 63,8 \%$$

5.12 Вывод по разделу

В данной главе для разрабатываемого участка произвели расчеты:

- численности основных и вспомогательных рабочих, а также специалистов, руководителей и служащих;
- фонда заработной платы;
- капитальных затрат на строительство и комплектацию участка оборудованием;
- затрат на содержание и эксплуатацию здания;
- себестоимости производства и срока окупаемости;
- точки безубыточности;

На основании расчетов составлена таблицы условно переменных и условно-постоянных затрат, рассчитана себестоимость производства, и точка безубыточности, которая составляет 23815686,4 руб.

Себестоимость передела составила 24407980,5 руб. Условно-переменные затраты – 1580395,25 руб/год, условно-постоянные затраты – 22872585,2 руб/год.

Рентабельность производства составляет 63,8 %, что говорит о целесообразности реализации данного производства.

6 Социальная ответственность

Социальная ответственность – это сознательное отношение субъекта социальной деятельности к требованиям социальной необходимости, гражданского долга, социальных задач, норм и ценностей.

Анализируя условия труда на предприятии, определяют потенциально опасные участки, возможные ситуации, которые могут привести к травме и разрабатывают меры, которые будут исключать или предупреждать их.

6.6 Общая характеристика производства

К числу факторов, оказывающих вредное воздействие при производстве меди электролитическим методом, относятся следующие виды опасностей физические, химические, психофизиологические согласно [40].

На работников могут воздействовать следующие факторы:

Физические:

- повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны;
- повышенная и пониженная температура и влажность воздуха в цехе;
- недостаточная и избыточная освещенность;
- опасность поражения электрическим током;
- опасность воздействия вибрации и различных шумов (двигатели, насосы);
- опасность возникновения пожара.

Химические:

- опасность отравления парами и аэрозолями химически агрессивных и токсичных веществ.

Психофизиологические:

- физические перегрузки;
- нервно-психические перегрузки (умственные перегрузки, монотонность труда, эмоциональные перегрузки).

Ввиду перечисленных факторов данное производство относится к вредным [41]. Основные параметры, характеризующие условия труда на данном производстве: микроклимат, электробезопасность, шум, вибрация, электроосвещение, пожарная безопасность.

6.7 Вредные вещества

В ходе проведения процесса электролитического получения медной фольги необходимо отслеживать ПДК серной кислоты в воздухе рабочей зоны. Предельно допустимые концентрации вредных веществ в воздухе рабочей зоны представлены в таблице 6.

Таблица 15 – Предельно допустимые концентрации вредных веществ рабочей зоны [42,43]

Наименование	Класс опасности	ПДК в воздухе рабочей зоны, мг/м ³
Серная кислота (H ₂ SO ₄)	2	1,0
Сульфат меди (CuSO ₄)	4	11,0

В данном производстве используется токсичная серная кислота. Пары и аэрозоль этого вещества поражают дыхательные пути, кожу, слизистые оболочки, вызывают затруднение дыхания, кашель, нередко – ларингит, трахеит, бронхит. Для обеспечения безопасных условий труда при работе с серной кислотой необходимо выполнять следующие требования:

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

В производственном помещении все трудящиеся на рабочих местах должны обеспечиваться средствами индивидуальной защиты. К СИЗ при работе с кислотами относятся:

- спецодежда повседневного применения [44];
- средства защиты органов дыхания – респираторы ШБ-1 "Лепесток" [45];
- спецобувь [46];
- средства защиты рук (защитные хлопчатобумажные и резиновые перчатки, камерные перчатки, рукавицы и т.д.) [47];
- средства защиты глаз (защитные очки, защитные щитки) [48].

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

Также каждый работник должен уметь оказывать первую медицинскую помощь пострадавшему при отравлении или получении химического ожога.

6.8 Микроклимат

Воздух рабочей зоны (микроклимат) в спроектированном производственном помещении определяют по следующим параметрам: температура, относительная влажность, скорость движения воздуха. Оптимальные и допустимые значения характеристик микроклимата приведены в таблицах 7 и 8.

Таблица 16 – Оптимальные параметры микроклимата [49,50]

Период года	Температура, °С	Относительная влажность, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный и переходный	19-21	40-60	Не более 0,1
Теплый	20-22	40-60	Не более 0,1

Таблица 17 – Допустимые параметры микроклимата [49,50]

Период года	Температура, °С	Относительная влажность, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный и переходный	17-23	15-75	Не более 0,3
Теплый	18-27	15-75	Не более 0,4

К мероприятиям по оздоровлению воздушной среды в производственном помещении относятся: вентиляция и кондиционирование воздуха, отопление помещений. Вентиляция может осуществляться естественным и механическим путём. В помещение должны подаваться следующие объёмы наружного воздуха: при объёме помещения до 20 м³ на человека – не менее 30 м³ в час на человека; при объёме помещения более 40 м³ на человека и отсутствии выделения вредных веществ допускается естественная вентиляция [50].

Система отопления должна обеспечивать достаточное, постоянное и равномерное нагревание воздуха. Параметры микроклимата регулируются системой центрального отопления, и имеют следующие значения: влажность – 40 %, скорость движения воздуха – 0,1 м/с, температура летом (20–25) °С, зимой (13–15) °С [51].

6.9 Вентиляция

В производственном цехе осуществляется механическая (искусственная) вентиляция. В зависимости от направления воздуха данная вентиляция является приточно-вытяжной, а по месту действия местной [51].

Для определения кратности воздухообмена применим формулу:

$$K = \frac{V}{V_y}, \quad (118)$$

где: K – кратность воздухообмена;

V – необходимое количество чистого воздуха, поступающего в помещение в течение 1 часа, м³/ч;

V_y – объем цеха, м³.

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

$$V_y = 6 \cdot S, \quad (119)$$

где: S – площадь помещения, 900 м².

$$V_y = 6 \cdot 900 = 5400 \text{ м}^3.$$

$$V = \omega \cdot F_p \cdot 3600, \quad (120)$$

где: ω – скорость воздуха, 11 м/с;

F_p – площадь поперечного сечения канала, м².

$$F_p = \frac{\pi \cdot d^2}{4}, \quad (121)$$

где: d – диаметр проема вентиляции, принимаем равным 1,0 м.

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

$$V = 11 \cdot 0,785 \cdot 3600 = 31086 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Тогда кратность воздухообмена будет равна:

$$K = \frac{31086}{5400} = 5,75.$$

Для помещения высотой 6 – 9 м и более кратность воздухообмена должна составлять от 5 до 7 [51].

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

6.10 Электроосвещение

Рациональное освещение производственных помещений и территории завода имеет немаловажное значение в комплексе санитарно-гигиенических мероприятий, направленных на оздоровление условий труда и повышение работоспособности обслуживающего персонала. Для создания благоприятных

рабочих условий, степень освещённости в производственных помещениях на участке электролиза нормируется, норма освещения составляет 300 лк.

В производственных помещениях химических заводов устанавливается аварийное освещение. По своему назначению аварийное освещение подразделяется на два вида: для эвакуации людей из помещения (должно обеспечить освещенность на полу по линии основных проходов не менее 30 лк) и для продолжения работ. Аварийное освещение должно обеспечить на рабочих поверхностях освещенность не менее 10 % от нормы освещенности [52].

Искусственное освещение является комбинированным. В помещении участка электролиза используют люминесцентные светильники типа ПВЛ - 1. Число светильников для цеха определяется по формуле (84) [53].

$$n = \frac{E \cdot S \cdot z \cdot k}{F \cdot U \cdot m}, \quad (122)$$

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

S – площадь помещения, $S=900$ м²;

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

k – коэффициент запаса, учитывающий снижение освещенности при эксплуатации, $k = 1,3$;

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

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

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

$$n = \frac{300 \cdot 900 \cdot 1,1 \cdot 1,3}{2500 \cdot 0,55 \cdot 2} = 141 \text{ светильник.}$$

Следовательно, для создания достаточной освещенности на участке электролиза необходимо установить 141 светильник.

6.11 Электробезопасность

Электробезопасность – система организационных мероприятий и технических средств, предотвращающих вредное и опасное воздействие электрического тока и электрической дуги на работающих. Знание основ

электробезопасности обязательно для персонала, обслуживающего электроустановки и электрооборудование.

Ячейки и аппараты электролизеров относятся к электротехническим установкам напряжением до 1000 В, поэтому на них распространяются и должны выполняться все требования и положения [54]. В соответствии с данным положением все помещения делят по опасности поражения электрическим током на следующие классы:

- без повышенной опасности;
- с повышенной опасностью;
- особо опасные.

На данном производстве опасность поражения электрическим током создает следующее оборудование:

- электродвигатели;
- осветительные установки, приборы и автоматика;
- токоведущие части электролизеров.

На проектируемом участке к средствам индивидуальной защиты от поражения электрическим током относятся [55]:

оградительные устройства, которые могут быть стационарными и переносимыми. Ограждения могут быть заблокированы с устройствами, отключающими рабочее напряжение при снятии;

- изолирующие устройства и покрытия;
- устройства защитного заземления, зануления и защитного отключения;
- устройства дистанционного управления;
- предохранительные устройства.

Существует опасность поражения электрическим током в следующих случаях:

- при непосредственном прикосновении к токоведущим частям во время ремонта электрических приборов;

- при прикосновении к нетоковедущим частям, оказавшимся под напряжением (в случае нарушения изоляции);

- при прикосновении с полом, стенами, оказавшимися под напряжением;
- при коротком замыкании.

Мероприятия по обеспечению электробезопасности электроустановок заданного цеха:

- отключение напряжения с токоведущих частей, на которых или вблизи которых будет проводиться работа, и принятие мер по обеспечению невозможности подачи напряжения к месту работы;

- вывешивание плакатов, указывающих место работы;
- заземление корпусов всех установок через нулевой провод;
- покрытие металлических поверхностей инструментов надежной изоляцией;

- недоступность токоведущих частей аппаратуры (заключение в корпус токоведущих и электропоражающих частей).

В соответствии с ГОСТ 12.1.019-2017 помещение, где находятся электролизеры, относится к категории А – особо опасным [56]. Так как в помещении присутствуют токопроводящие полы, а также существует опасность одновременного прикосновения к металлическим конструкциям и корпусам электрооборудования.

6.12 Мероприятия по защите от шума и вибрации

Шум и вибрация ухудшают условия труда, оказывают вредное воздействие на организм человека, а именно, на органы слуха и на весь организм через центральную нервную систему. Шум может создаваться работающим оборудованием, установками кондиционирования воздуха, осветительными приборами дневного света, а также проникать извне.

Согласно ГОСТ 12.1.003-2014 уровень звукового давления в производственном помещении не должен превышать 80 дБ [57].

Источниками шума и вибрации на участке электролиза являются: насосы и вентиляционные системы, сила звука которых не превышает 70 дБ. В связи с этим необходимо провести следующие организационно-технические мероприятия по защите от шума и вибрации [58, 59]:

- рационально разместить насосы и вентиляторы по степени шумности по всему участку;
- покрыть стены звукопоглощающими материалами (акустической штукатуркой);
- использовать вибропоглощающие покрытия (резиновые прокладки);
- использовать средства индивидуальной защиты (противошумные наушники, закрывающих ушную раковину снаружи).

Таким образом, соблюдение вышеперечисленных мероприятий обеспечивает безопасную работу для персонала по уровню шума и вибрации на участке электролиза.

6.13 Пожарная безопасность

Пожарная профилактика представляет собой единый комплекс организационных и технических мероприятий, направленных на предупреждение и локализацию пожаров. В том числе к этим мероприятиям относятся меры пожарной безопасности, принимаемые при проведении технологического процесса, т.е. в период эксплуатации.

При разборке 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. Исследованиями установлено, что основными и наиболее частыми причинами загораний, пожаров и взрывов на предприятиях химической промышленности являются:

- нарушение элементарных правил пожарной безопасности;
- нарушение режима технологических процессов;

- неисправность электрооборудования, электросетей;
- нарушение электротехнических правил;
- самовозгорание, статическое электричество, грозовые разряды.

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.

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

При производстве медной фольги пожароопасные и взрывоопасные вещества отсутствуют. Единственная опасность – это короткое замыкание токоподводящего элемента установки.

Помещение предлагаемого нами участка должно быть отнесено к категории В [60]. Основанием для установления этой категории пожароопасности является наличие негорючих пожароопасных веществ в нагретом.

6.14 Аварийные и чрезвычайные ситуации на предприятии

В Приложении 3 рассмотрены аварийные и чрезвычайные ситуации, меры их предотвращения и ликвидации их последствий, которые могут возникнуть на разрабатываемом участке.

6.15 Вывод по главе

Рассмотрены вредные и опасные факторы на участке электролитического получения медной фольги:

- 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);
- по электробезопасности – к категории А – особо опасным;
- по вредным веществам – к II классу опасности.

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.

7 Автоматизация

Сложность протекания технологических процессов, чувствительность к отклонению режимов процесса, вредностью условий работы и другие факторы обуславливают то, что в химической промышленности уделяется большое внимание автоматизации с помощью автоматических систем управления производственным процессом (АСУ ТП) [61].

Благодаря автоматизации в химической промышленности обеспечивается выполнение следующих задач:

- безопасность рабочего персонала;
- защита окружающей среды;
- высокое качество производимых продуктов;
- сокращение брака и уменьшение отходов;
- снижение себестоимости продукции;
- повышение производительности.

Применение АСУ ТП на предприятиях химических производств позволяет снизить себестоимость производимых продуктов и повысить эффективность производства.

С помощью системы автоматически выполняются следующие этапы работы установки:

- подача в установку сырья;
- запуск установки и выход на заданный режим работы;
- выдача на экран оператора информации о протекании процесса;
- обеспечение противоаварийной защиты;
- проведение проверки исполнительных механизмов и датчиков

установки.

Для получения информации о состоянии объекта и условиях работы служат устройства контроля. Устройства выполнены либо в виде отдельных приборов, служащих для визуального контролирования параметров процесса,

либо являться составной частью устройств регулирования, сигнализации и защиты [61].

В данном дипломном проекте разрабатывается схема автоматизации процесса непрерывного получения медной фольги электролизом, осуществляемый в электролизерах с вращающимся барабан-катодом.

Необходимость автоматизации данного процесса обусловлена необходимостью контроля параметров процесса, от которых зависит качество продукции, а также опасностью для людей, контактирующих с оборудованием, так как процесс проходит под воздействием электрического тока.

В связи с этим применяется комплексная автоматизация с применением дистанционного управления, которая минимизирует опасное воздействие производства на работников.

7.1 Описание схемы автоматизации

Участок получения медной фольги представляет собой две технологические линии, состоящую из двух электролизеров. Ниже представлено описание схемы автоматизации для одной линии.

Процесс начинается с приготовления электролита в агитаторе (8). Необходимо приготовить раствор с концентрациями 200 г/л по серной кислоте и 25 г/л по меди. В агитатор (8) из баков (6) и (7) подаются растворы сульфата меди (303,92 кг/час) и серной кислоты (972,54 кг/час) для достижения необходимых концентраций, которые измеряются датчиками концентрации, установленными в агитаторе (позиции 17,19). Расход компонентов измеряется датчиками расхода сульфата меди (0,25 м³/час) (позиции 18) и серной кислоты (0,81 м³/час) (позиция 18) и регулируется их подача при помощи вентиля (позиция 16.1) и (позиция 18.1). Баки с кислотой и медным купоросом оснащены нижними датчиками уровня (позиция 9) и (позиция 10). В агитаторе установлены как нижний, так и верхний датчик уровня (позиции 11 и 12).

Насосы (9.1, 9.2) в начале процесса блокируются (позиция 32, 33). При достижении необходимой концентрации меди в агитаторе (8) и верхнего уровня, насосы включаются и подают электролит в электролизеры.

Из агитатора раствор при помощи насосов (9) подается в теплообменники (10), где нагревается до рабочей температуры 55 °С, измеряемой на входе в электролизеры датчиками температуры (позиции 21,24). Температура теплоносителя на входе в теплообменники измеряется датчиками температуры (позиции 20,23). Расход электролита, который составляет 2,42 м³/ч, на входе в теплообменник измеряется датчиками расхода (позиции 30, 31) и регулируется вентилями (30.1, 31.1).

Затем раствор подается в электролизные ванны (1), где непосредственной происходит процесс электролиза. Чтобы не допускать переливов, в электролизной ванне установлен верхний датчик уровня (позиции 14, 15). Барабан-катод вращается при помощи двигателя с заданной частотой 1 об/час, которая измеряется и регулируется контурами (позиции 26 – 27; 28 – 29). На ванны подается напряжение 1,625 В, значение которого измеряется вольтметрами (позиции 1,2) и сила тока 2112 А, измеряемая амперметрами (позиции 3, 4). Получаемая медная фольга постоянно снимается с поверхности катода, проходит линию отмывки и сушки (3) и наматывается на барабан намотки (4).

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

На входе в сборный бак (5) измеряется расход электролита датчиком расхода (позиция 5) для поддержания необходимой скорости движения электролита 1 м/с. Расход должен составлять 4,82 м³/ч. Регулирование происходит при помощи вентиля (позиция 5.1). Так как сборный бак расположен выше по уровню чем электролизер, в линии установлен насос для подачи электролита из электролизера в сборный бак (позиции 9.4, 9.5).

Также на входе в сборный бак (5) измеряется концентрация серной кислоты датчиком концентрации (позиция 6). Так как в результате электролиза происходит наработка серной кислоты и тем самым увеличение ее концентрации. Необходимо выводить электролит из процесса, тем самым поддерживая концентрацию кислоты на нужном уровне. Это обеспечивается за счет датчика концентрации. Если датчик концентрации кислоты (позиция 6) показывает значение ≥ 250 г/л происходит открывание вентиля (позиция 6.1) и закрытие вентиля (позиция 6.2), что приводит к тому, что часть электролита выводится из процесса и отправляется на упаривание. После того, как значение концентрации кислоты стало <250 г/л происходит закрытие вентиля (позиция 6.1), блокировка насоса (9.3) (позиция 34) и открывание вентиля (позиция 6.2). Весь электролит не может уйти из процесса, так как процесс непрерывный и в сборный бак постоянно поступает новая порция электролита, а концентрация будет уменьшаться за счет этого. Когда датчик концентрации (позиция 6) показывает допустимое значение серной кислоты, закрывается вентиль (позиция 6.1), открывается вентиль (позиция 6.2) и включается насос (9.3). Далее электролит поступает в агитатор, где корректируется по содержанию сульфата меди, то есть концентрация меди измеряется в агитаторе при помощи датчика концентрации (позиция 17) и доводится до 25 г/л за счет добавления свежего раствора. При этом для достижения необходимой концентрации компонентов в начале процесса открываются оба вентиля (позиции 16.1 и 18.1) подачи реагентов из баков с реагентами (6) и (7). В последствии, когда электролит возвращается в агитатор для корректировки, датчики концентрации (позиции 17 и 19) измеряют концентрацию компонентов в электролите и используя вентили (позиции 16.1 и 18.1) подаются свежие компоненты. При достижении необходимой концентрации вентили закрываются, так как процесс непрерывный и электролит циркулирует в процессе.

Сборный бак также оснащен верхним и нижним датчиками уровня с сигнализацией (позиции 8 и 13). При срабатывании сигнала, открывается вентиль (позиция 6.1) и часть раствора отводится из бака.

В начале процесса, когда электролит только поступает в сборный бак, вентили (позиции 6.1 и 6.2) закрыты, насос (9.3) блокируется.

При достижении верхнего уровня, вентиль (позиция 6.2) открывается, насос (9.3) включается и электролит поступает в агитатор (8) на корректировку. Для обеспечения корректной работы расходы, измеряемые расходомерами на входе в сборный бак и на выходе (позиции 5 и 7) должны совпадать и составлять $4,82 \text{ м}^3/\text{ч}$.

Когда отработанный электролит поступает на корректировку в агитатор (8), концентрация меди в растворе измеряется датчиком концентрации (позиция 17) и по материальному балансу на выходе из электролизера расход по CuSO_4 составляет $0,24 \text{ м}^3/\text{час}$. При этом в агитатор с помощью вентилей (позиция 18.1) подается свежая порция CuSO_4 для достижения необходимых концентрации, измеряемой датчиком концентрации меди.

Схема автоматизации представлена в Приложении И.

7.2 Перечень параметров контроля

Функциональная схема автоматизации определяет функциональную структуру и объем автоматизации технологических установок и отдельных агрегатов промышленного участка. В данной работе объектом автоматизации является технологический процесс непрерывного получения медной фольги электролизом.

При автоматизации химико-технологических процессов и производств технологическое оборудование оснащается приборами, регуляторами, управляющими машинами и другими устройствами. Для составления схемы автоматизации тщательно изучается технологический процесс, выявляются параметры, влияющие на его протекание процесса, устанавливается связь между ними. В соответствии с поставленной задачей составляется схема регулирования и управления технологическим процессом [62].

Контролю подлежат, параметры, зная которые облегчается пуск, наладка и нормальное ведение технологического процесса. К таким параметрам относятся все регулируемые величины и нерегулируемые параметры.

Функциональная схема содержит условные обозначения средств автоматизации: первичные преобразователи (датчики), устройства дистанционной передачи сигналов, показывающие, регистрирующие и регулирующие приборы, а также устройство сигнализации [62].

Измерению подлежат:

- напряжение, подаваемое на электролизер;
- сила тока, подаваемая на электроды;
- расход электролита на выходе из электролизеров;
- концентрация серной кислоты на выходе из электролизеров;
- верхние уровни жидкости сборного бака и агитатора;
- нижние уровни жидкости баков с реагентами;
- расход рециркулируемого электролита на входе в агитатор;
- расход компонентов электролита на входе в агитатор;
- концентрации сульфата меди и серной кислоты в агитаторе;
- температура электролита на входе в электролизеры;
- температура воды на входе в теплообменники;
- частота оборотов барабан-катодов.

Регулированию подлежат:

- расход электролита на выходе из электролизеров и сборного бака;
- расход компонентов электролита на входе в агитатор;
- температура электролита на входе в электролизеры;
- концентрация компонентов электролита;
- частота оборотов барабан-катодов.

Сигнализации подлежат:

- сила тока, подаваемая на электроды
- верхние уровни жидкости сборного бака и агитатора;

- нижние уровни жидкости баков с реагентами;
- температура электролита на входе в электролизеры;
- частота оборотов барабан-катодов.

Контроль и регулирование параметров позволяют облегчить проведение химико-технологического процесса, снизить нагрузку на работников. В промышленности используют системы централизованного контроля, цифровой регистрации, сигнализации и регулирования (МЦКР), что позволяет уменьшить размеры щитов и пультов управления. Их можно использовать для управления большим числом однотипных простых процессов, за счет последовательного сбора информации обтекающим устройством [63].

Блокировке подлежат:

- насосы (9.1, 9.2) на прекращение подачи электролита в электролизеры при срабатывании сигнализатора нижнего уровня в агитаторе (8).
- насос (9.3) на прекращение подачи отработанного электролита из сборного бака (5) в агитатор (8) при срабатывании сигнализатора нижнего уровня сборного бака (5).

7.3 Выбор датчиков

Для каждого из измеряемых параметров были подобраны наиболее оптимальные датчики.

Датчик измерения расхода:

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

Выбран датчик ЭМИС-МАГ 270 (электромагнитный) – данный датчик используется для измерения расхода жидкостей, когда она является. Используется при температуре от -40 до +130 °С. Номинальный диаметр до 3000

мм. Максимальное рабочее давление до 32 МПа. Диапазон расхода от 0,06 м³/ч до 28300 м³/ч [64]

Датчик измерения концентрации серной кислоты:

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

SJG-2083 D – Прибор для измерения концентраций щелочей и кислот. Степень защиты IP65. Работает при температуре от 0 до 150 °С. Диапазон измерений концентрации от 0 до 30 %. Погрешность измерений 1 % [65].

Он является оптимальным для измерения концентрации серной кислоты в диапазоне от 15 до 25 %.

Датчик измерения концентрации ионов меди:

В агитаторе необходимо измерять концентрацию ионов меди, которая должна составлять 25 г/л.

Был выбран датчик МАК-1Б (фотоколориметрический) – датчик, определяющий концентрацию ионов различных металлов, в том числе для меди. Степень защиты IP65. Работает при температуре от 10 до 55 °С. Предел измерения концентрации до 80 г/л. Погрешность измерений 1 % [66].

Датчик измерения уровня:

В агитаторе, электролизерах, сборном баке и емкостях для реагентов установлены датчики уровня.

Уровнемеры могут применяться для определения жидких сред, по способу измерения могут быть контактными и бесконтактными, общепромышленными или взрывобезопасными. Так как в емкостях находится серная кислота и раствор содержащий сульфат ионы, необходимо подбирать датчики уровня для агрессивных сред.

Был выбран датчик FineTek EG31 (магнитострикционный) – приборы серии EG представляют семейство магнитострикционных поплавковых преобразователей уровня. Степень защиты IP67. Работает при температурах от -40 до +125 °С и в коррозионных/агрессивных средах. Давление рабочей среды до 30 бар. Измерение уровня от 50 до 5500 мм. Погрешность 1 мм [67].

Датчик температуры:

Так же в процессе получения медной фольги необходимо контролировать температуру электролита на входе в электролизер и температуру воды на входе в теплообменник.

Выберем датчики для измерения температуры электролита и воды одинаковые, так как использование одних и тех же датчиков облегчает работу с ними.

Был выбран датчик TOPCV-1 – Датчик температуры для измерения агрессивных жидких и газообразных сред. Степень защиты головки IP54. Работает при температуре от 0 до +100 °С. Материал сталь, покрытая теплостойким поливинилом [68].

7.4 Заключение по разделу автоматизации

В данном разделе проекта были перечислены параметры, которые подлежат контролю, регулированию и сигнализации, составлена функциональная схема автоматизации. Произведен подбор приборов для контроля, сигнализации и поддержания технологических параметров на заданном уровне.

Разработанная схема автоматизации процесса электролитического получения медной фольги позволяет значительно уменьшить количество персонала, занятого в этом процессе, что также позволяет увеличить производительность и максимально снизить время пребывания персонала в опасной зоне.

Заключение

В ходе выполнения дипломного проекта произведён литературный обзор основных стадий производства меди, существующих методов получения медной фольги.

На основании недостатков этих методов предложен проект участка для непрерывного производства медной фольги электролизом водных растворов, позволяющий увеличить производительность процесса и снизить себестоимость получаемого продукта.

Произведены расчёты материальных и тепловых потоков процесса электролиза.

Произведен расчет основного аппарата – барабанного электролизера. Диаметр барабан катода 3000 мм, ширина барабан катода 1600 мм. Объём ванны составляет 2,42 м³. Размеры ванны составляют:

- длина – 3152 мм;
- ширина – 1712 мм;
- высота – 2596 мм.

Рассчитаны основные габаритные размеры здания. Длина здания 30 м, ширина здания 30 м, высота 9 м. Произведено планирование помещений и размещение оборудования в здании.

Составлена аппаратурно-технологическая схема и функциональная схема автоматизации производства.

Рассмотрены основные и вредные факторы на производстве, проработаны мероприятия по охране труда, электро- и пожаробезопасности на участке электролиза.

Проведён экономический расчёт проектируемого участка, который подтверждают эффективность и перспективность данного проекта.

Список используемых источников

1. Cu-prum Цветной металлопрокат [Электронный ресурс] / Информационный портал. – URL: <https://cu-prum.ru/med.html>, свободный. – Загл.с экрана. – Яз.рус. Дата обращения: 05.04.2020.
2. Металлургия тяжелых цветных металлов [Электронный ресурс]: электрон.учеб. пособие / Н. В. Марченко, Е. П. Вершинина, Э. М. Гильдебрандт. – Электрон. дан. (6 Мб). – Красноярск: ИПК СФУ, 2009.
3. Специальные материалы. Медь и медные сплавы [Электронный ресурс] / Информационный портал. – URL: <http://s-m.su/ploskij-prokat-iz-mednyh-splavov>, свободный. – Загл.с экрана. – Яз.рус. Дата обращения: 20.10.2020.
4. Центральный металлический портал РФ [Электронный ресурс] / Информационный портал. – URL: <http://metallicheskiy-portal.ru>, свободный. – Загл.с экрана. – Яз.рус. Дата обращения: 22.10.2020.
5. Уткин Н.И. Металлургия цветных металлов: учебник / Н. И. Уткин. – М.: Металлургия, 1985. – 440 с.
6. Осинцев О.Е. Медь и медные сплавы. Отечественные и зарубежные марки: справочник / О.Е. Осинцев, В.Н. Федоров. – М.: Машиностроение, 2004. – 336 с.
7. Иванова Н. П. Гидроэлектрометаллургия: электронный конспект лекций для студентов специальности 1-48 01 04 «Технология электрохимических производств» / Н. П. Иванова, И. А. Великанова. – Минск: БГТУ, 2010. – 103 с.
8. ООО Инженерно-техническая компания цветные металлы [Электронный ресурс] / Информационный портал. – URL: <http://itkcm.com/folga>, свободный. – Загл.с экрана. – Яз.рус. Дата обращения: 28.10.2020.
9. Набойченко С.С. Гидрометаллургия меди / С. С. Набойченко, В.И. Смирнов. – М.: Металлургия, 1974. – 272 с.
10. Прикладная электрохимия: учебник для вузов / Под ред. Н.Т. Кудрявцева. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Химия, 1975. – 551 с.

11. Прикладная электрохимия: учебное пособие для вузов / Н.П. Федотьев, А.Ф. Алабышев, и др.; Под ред. Н.П. Федотьева. – 2-е изд., испр. и доп. – Л.: Химия, 1967. – 600 с.
12. Борхерс И.А.В. Электрометаллургия. Получение металлов при помощи электрического тока: перевел со 2-го дополненного издания "Dr. W. Borchers, Elektrometallurgie, 1896" С.И. Сизонов / И.А.В. Борхерс; пер. С.И. Созонова. – С.: Типо-Литография и Фототипия П. И. Бабкина, 1898. – 423 с.
13. Ротинян А.Л. Прикладная электрохимия / А.Л. Ротинян. – 3-е изд., перераб. и доп. – Л.: Химия, 1974. – 536 с.
14. Медная фольга электролитического осаждения и способ ее изготовления: патент США № 5181770; заявл. 10.03.1997; опубл. 20.03.2001, Бюл. № 19. – 3 с.
15. Способ изготовления медной фольги: патент США № 4956053; заявл.; 07.11.2000 опубл. 18.10.2002, Бюл. № 11. – 5 с.
16. Способ изготовления металлической ленты электролизом и устройство для его осуществления: патент Рос. Федерация № 2258770; заявл. 05.10.2010; опубл. 21.03.2013, Бюл. № 16. – 4 с.
17. Устройство для гальванопластического изготовления фольги: патент Рос. Федерация № 859484; заявл. 29.05.2010; опубл. 28.05.2014. Бюл. № 17. – 3 с.
18. Устройство для ведения непрерывного процесса электролитического осаждения: патент Германия №2166567; заявл.: 11.04.2008; опубл. 20.09.2011. Бюл. № 12 – 4 с.
19. System and method for producing copper powder by electrowinning in a flow-through electrowinning cell: United States Patent № 8016983; filed 18.05.2010; publ. 13.09.2011, Bul. №–11 p.
20. 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, Bul. №– 22 p.
21. ГОСТ 9559-89. Листы свинцовые. Технические условия. – М.: Стандартиформ, 1990. – 10 с.

22. Новые двигатели переменного тока IE3 [Электронный ресурс] / Мотор редуктор Sew-Eurodrive серии D – URL: <https://www.sew-eurodrive.ru/glavnaya.html>, свободный. – Загл.с экрана. – Яз.рус. Дата обращения: 15.11.2020.

23. Бледнов, Б.П. Расчеты по металлургии меди и никеля: учебное пособие / Б. П. Бледнов; Красноярский институт цветных металлов и золота (КИЦМиЗ). – Красноярск: КИЦМ, 1990. – 59 с.

24. ГОСТ 31996-2012 Кабели силовые с пластмассовой изоляцией на номинальное напряжение 0,66; 1 и 3 кВ. Общие технические условия. – М.: Стандартинформ, 2013. – 86 с.

25. Электропроект [Электронный ресурс] / агрегат выпрямительный ТВ1-2500/15Т-0 УХЛ-4 – URL: <http://www.eip.ru/>, свободный. – Загл.с экрана. – Яз.рус. Дата обращения: 15.11.2020.

26. НПП Экомет [Электронный ресурс] / теплообменники Calorplast Wärmetechnik GmbH – URL: <http://www.ecomet.ru/>, свободный. – Загл.с экрана. – Яз.рус. Дата обращения: 15.11.2020.

27. Альперт Л.З. Основы проектирования химических установок: учебное пособие / Л. З. Альперт. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Высшая школа, 1989. – 304 с.

28. Косинцев В.И. Основы проектирования химических производств: учебное пособие. Ч. 1 / В. И. Косинцев; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во ТПУ, 2000. – 197 с.

29. Pomrashor [Электронный ресурс] / насос DB3P-B – URL: <https://pomrashor.ru/>, свободный. – Загл.с экрана. – Яз.рус. Дата обращения: 15.11.2020.

30. Лазинский А.А. Основы конструирования и расчета химической аппаратуры: справочник / А.А. Лазинский, А.Р. Толчинский. – 2-е изд., перераб. и доп. – Л.: Машиностроение, 1970. – 654 с.

31. ГОСТ 13663-86. Трубы стальные профильные. Технические требования. – М.: Стандартинформ, 1987. – 10 с.

32. ГОСТ 8639-82. Трубы стальные квадратные. Сортамент. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2001. – 20 с.

33. ООО «Новые технологии и оборудование» [Электронный ресурс] / Установка отмывки и сушки НТО 33.00.00.000 – URL: <http://newtecheq.ru/prod.html>, свободный. – Загл.с экрана. – Яз.рус. Дата обращения: 29.11.2020.

34. РИНТЕП [Электронный ресурс] / Устройство намотки BRJ-1400 (II) – URL: <http://rinter.ru/>. – Загл.с экрана. – Яз.рус. Дата обращения: 29.11.2020.

35. 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: 01.12.2020.

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

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

38. Меньшикова Е.В. Технико-экономическое обоснование проектирования цеха химического производства / Е.В. Меньшикова, Ф.А. Ворошилов, Е.Л. Бойцова – Томск: ТПУ, 2019 – 82 с

39. StoryCalc [Электронный ресурс] / Расчет стоимость строительства здания – URL: <https://stroy-calc.ru/raschet-penoblokov>, свободный. – Загл.с экрана. – Яз.рус. Дата обращения: 10.12.2020.

40. ГОСТ 12.0.003-2015 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Опасные и вредные производственные факторы. Классификация. – М.: Стандартинформ, 2019. – 10 с.

41. Федеральный закон "О специальной оценке условий труда" от 28.12.2013 N 426-ФЗ (с изменениями на 27 декабря 2019 года)

42. ГОСТ 19347-2014. Купорос медный. Технические условия. – М.: Стандартиформ, 2013. – 54 с.

43. ГОСТ 14262-78. Кислота серная особой чистоты. Технические условия. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2003. – 20 с.

44. ГОСТ 12.4.280-2014 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Одежда специальная для защиты от общих производственных загрязнений и механических воздействий. Общие технические требования, – М.: Стандартиформ, 2014. – 54 с.

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

46. ГОСТ 12.4.270-2014 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Обувь специальная дезактивируемая с текстильным верхом для работ с радиоактивными и химически токсичными веществами. Общие технические требования и методы испытаний. – М.: Стандартиформ, 2014.

47. ГОСТ 12.4.010-75 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Средства индивидуальной защиты. Рукавицы специальные. Технические условия (с Изменениями N 1, 2, 3). – М.: Стандартиформ, 2015.

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

49. 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.

50. ГОСТ 12.1.005-88 Система стандартов безопасности труда. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны. – М.: Стандартиформ, 2008. – 48 с.

51. СП 60.13330.2016 Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. – М.: ФГУП ЦПП, 2004. – 92 с.

52. СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. – М.: Госстрой России, ГУП ЦПП, 2003. – 102 с.
53. Освещение производственных помещений [Электронный курс]. URL: <https://studfile.net>, – Загл.с экрана. – Яз.рус. Дата обращения: 05.12.2020г.
54. Приказ Минтруда России от 24.07.2013 N 328н. "Об утверждении Правил по охране труда при эксплуатации электроустановок" (с изменениями на 15 ноября 2018 года)
55. Манойлов В.Е. Основы электробезопасности / В. Е. Манойлов. – 4-е изд., перераб. и доп. – Ленинград: Энергоатомиздат, 1985. – 384 с
56. ГОСТ 12.1.019-2017 Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты. – М.: Стандартинформ, 2019. – 16 с.
57. ГОСТ 12.1.003-2014 Система стандартов безопасности труда. Шум. Общие требования безопасности. – М.: Стандартинформ, 2015. – 28 с.
58. ГОСТ 12.1.029-80. Система стандартов безопасности труда. Средства и методы защиты от шума. Классификация. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2001. – 4 с.
59. ГОСТ 12.4.316-2019 Система стандартов безопасности труда. Средства защиты от вибрации. Общие технические требования и методы испытаний. – М.: Издательство стандартов, 2019. – 10 с.
60. НПБ 105-03 [Электронный курс] Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности. – М.: ФГУ ВНИИПО МЧС России, 2003. – 28 с.
61. Голубятников В.А. Автоматизация производственных процессов в химической промышленности / Голубятников В.А., Шувалов В.В. – М.; «Химия», 1985. – 350 с.
62. Вильнина А.В. Разработка системы управления технологическим процессом (по заданию): Учебно-методическое пособие к выполнению курсового проекта. / А.А. Лысенко, А.В. Вильнина – Томск: ТПУ, 2008. – 47 с.

63. Голубятников В.А. Автоматизация производственных процессов и АСУП в химической промышленности: учебник / В. А. Голубятников, В. В. Шувалов. – М.: Химия, 1978. – 375 с.

64. ООО «ЭИМС» [Электронный ресурс] / Электромагнитный расходомер ЭМИС-МАГ 270 – URL: https://emis-kip.ru/ru/prod/elektromagnitnyj_rashodomer/, свободный. – Загл.с экрана. – Язык рус. Дата обращения: 23.11.2020.

65. TOPChinaSupplier [Электронный ресурс] / Датчик концентрации кислоты SJG-2083D – URL: <https://www.topchinasupplier.com/>, свободный. – Загл.с экрана. – Яз.рус. Дата обращения: 23.11.2020.

66. НПО Валентина [Электронный ресурс] / "МАК-1Б" анализатор концентрации ионов меди– URL: <http://nprovalentina.ru/>, свободный. – Загл.с экрана. – Яз.рус. Дата обращения: 23.11.2020.

67. РусАвтоматизация [Электронный ресурс] / Серия EG, высокоточные магнитострикционные уровнемеры для промышленности. – URL: https://rusautomation.ru/datchiki_urovnya/urovnevery-eg, свободный. – Загл.с экрана. – Яз.рус. Дата обращения: 23.11.2020.

68. ОЛИЛ [Электронный ресурс] / Датчик температуры агрессивных сред ТОРСВ-1. – URL: <https://olil.ru/thermoolil/dditas/v1>, свободный. – Загл.с экрана. – Яз.рус. Дата обращения: 23.11.2020.

Приложение А (обязательное)

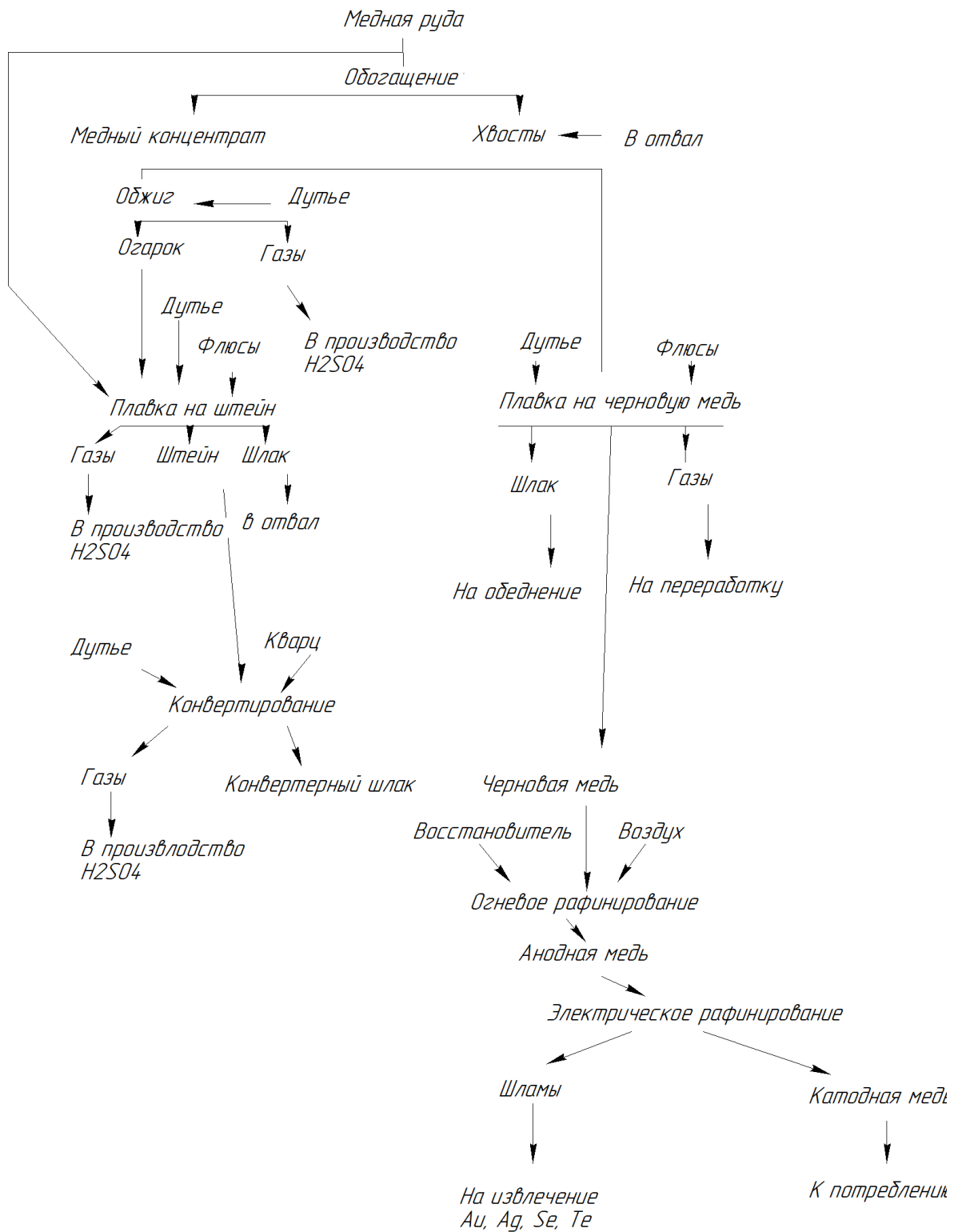


Рисунок А1 – Технологическая схема пирометаллургического получения меди из сульфидных руд

Приложение Б (обязательное)

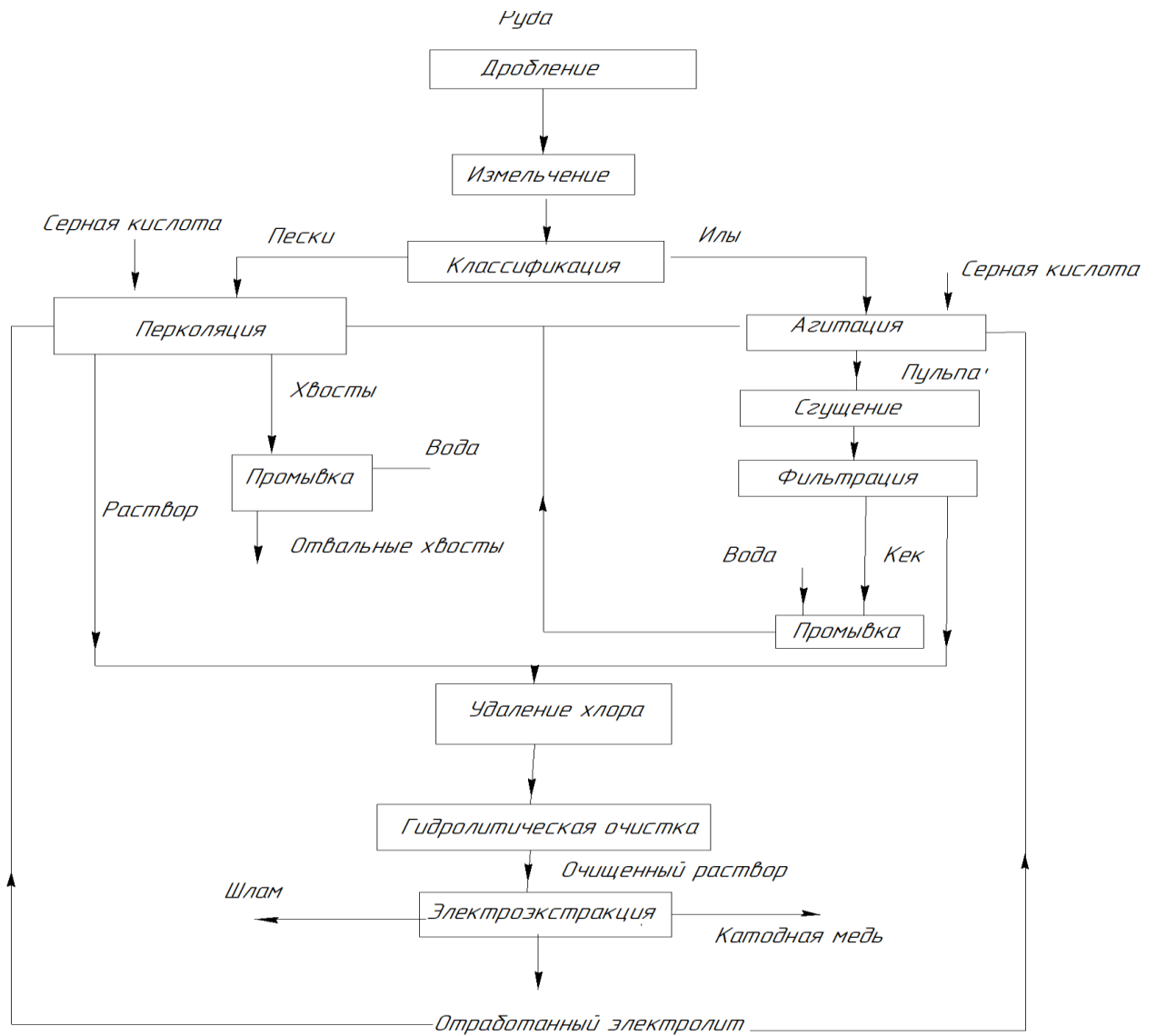


Рисунок Б1 – Технологическая схема гидрометаллургического способа
получения меди

Приложение В (обязательное)

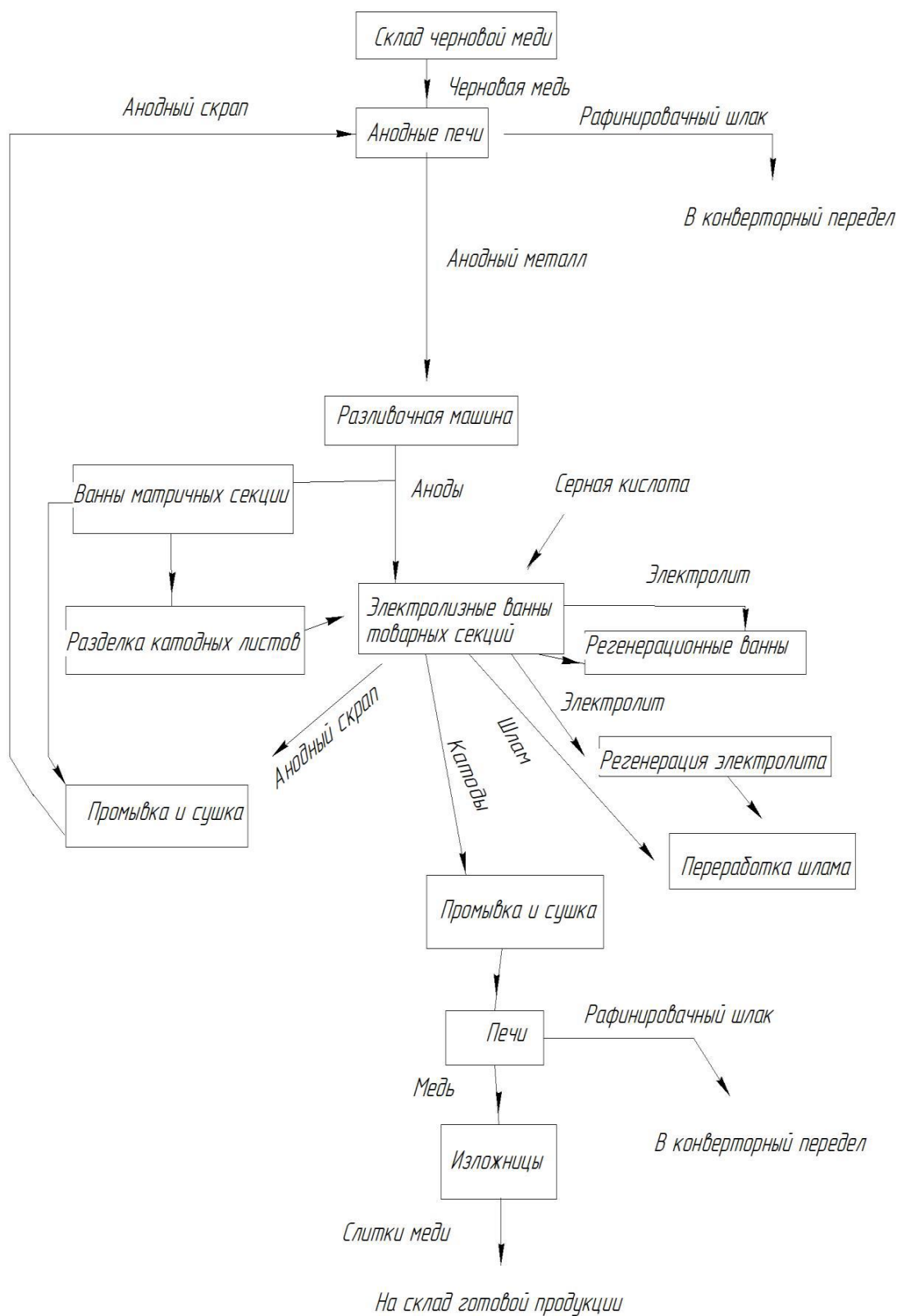


Рисунок В1 – Технологическая схема электрорафинирования меди

Приложение Г
(обязательное)

Номер смены	Часы работы	Дни месяца																														
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
1	0-8	А	А	А	Б	Б	Б	В	В	В	Г	Г	Г	А	А	А	Б	Б	Б	В	В	В	Г	Г	Г	А	А	А	Б	Б	Б	В
2	8-16	В	Г	Г	Г	А	А	А	Б	Б	Б	В	В	В	Г	Г	Г	А	А	А	Б	Б	Б	В	В	В	Г	Г	Г	А	А	А
3	16-24	Б	Б	В	В	В	Г	Г	Г	А	А	А	Б	Б	Б	В	В	В	Г	Г	Г	А	А	А	Б	Б	Б	В	В	В	Г	Г
Отдых		Г	В	Б	А	Г	В	Б	А	Г	В	Б	А	Г	В	Б	А	Г	В	Б	А	Г	В	Б	А	Г	В	Б	А	Г	В	Б

Рисунок Г1 – График сменности бригад: А, Б, В, Г – бригады

Приложение Д
(обязательное)

Таблица Ж1 – Баланс рабочего времени среднесуточного рабочего

Элементы времени	Непрерывное производство, 8-часовой рабочий день, 4 бригады	
	дней	часов
Календарное число дней	365	8760
Выходные дни	91	2184
Номинальный фонд рабочего времени	355	8568
Планируемые невыходы:		
Очередные и дополнительные отпуска	32	768
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):	55	1320
Эффективный фонд рабочего времени	209	5016

Приложение Е
(обязательное)

Таблица Е1 – 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	6	3
Фонд рабочего времени, час	1672	
Тарифный фонд, руб/год	2808960	
Доплата за ночное время, руб/год	435456	
Доплата за праздничные дни, руб/год	403200	
Доплата за вредность, руб/год	561792	
Доплата премий, руб/год	842688	
Основной фонд ЗП, руб/год	5052096	
Дополнительный фонд заработной платы, руб/год	555730,56	
Социальные отчисления, руб/год	1515628,8	
Годовой фонд заработной платы, руб/год	7123455,36	

Приложение Ж
(обязательное)

Таблица Ж1 – Расчет годового фонда заработной платы вспомогательных рабочих

Категория рабочих	Вспомогательные
Система оплаты труда	Повременно-премиальная
Разряд	5
Тарифная ставка, руб/час	130
Численность списочных рабочих, чел	9
Фонд рабочего времени, час	1672
Тарифный фонд, руб/год	1956240
Доплата за ночное время, руб/год	303264
Доплата за праздничные дни, руб/год	280800
Доплата за вредность, руб/год	391248
Доплата премий, руб/год	586872
Основной фонд ЗП, руб/год	3518424
Дополнительный фонд заработной платы, руб/год	387026,64
Социальные отчисления, руб/год	1055527,2
Годовой фонд заработной платы, руб/год	4960977,84

Приложение 3 (обязательное)

Таблица 31 – Аварийные и чрезвычайные ситуации на участке

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

Приложение И (обязательное)

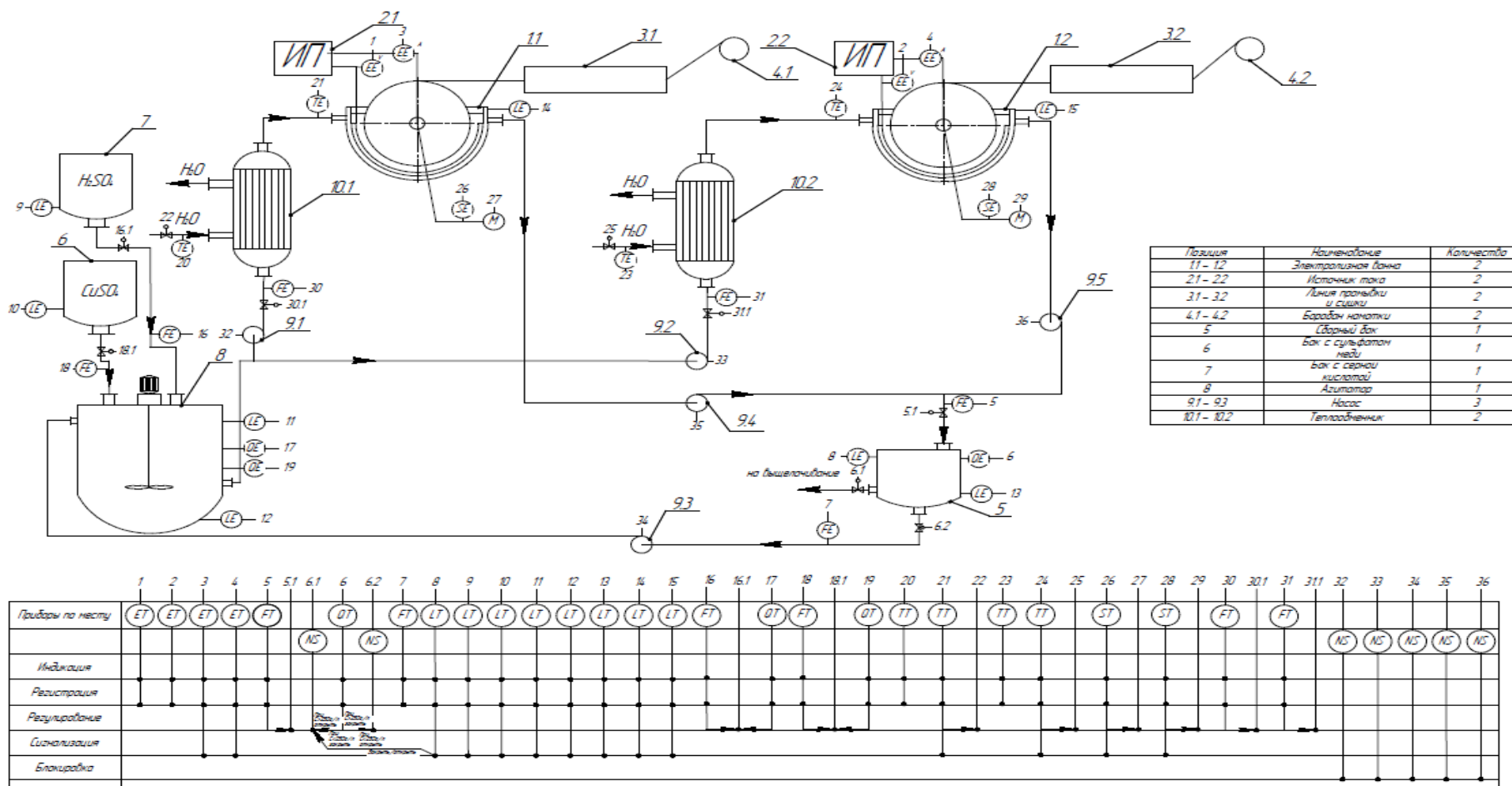


Рисунок И1 – Схема автоматизации