

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

Институт: Физико-технический
Специальность: 240601 Химическая технология материалов современной энергетики
Кафедра: «Химическая технология редких, рассеянных и радиоактивных элементов»

ДИПЛОМНЫЙ ПРОЕКТ

Тема работы
Проект электролизного цеха для получения золота из технологических растворов производительностью 5000 кг в год

УДК 66.023.2

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0402	Усанова Алена Сергеевна		18.12.15

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Ворошилов Ф. А.	к.т.н.		30.12.15

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Тухватулина Л. Р.	к.ф.н.		28.12.2015

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Усов В. Ф.	к.т.н.		18.12.15

По разделу «Автоматизация процесса»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Вильнина А. В.	к.т.н.		30.12.15

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
	Крайденко Р. И.	д.х.н.		

Томск – 2016г.

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

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
<i>Профессиональные компетенции</i>	
P1	Демонстрировать глубокие естественнонаучные, математические и инженерные знания и детальное понимание научных принципов профессиональной деятельности
P2	Ставить и решать инновационные задачи, связанные с получением и переработкой материалов и изделий ядерного топливного цикла, с использованием моделирования объектов и процессов химической технологии материалов современной энергетики
P3	Эксплуатировать и совершенствовать действующие, разрабатывать и внедрять новые современные высокотехнологичные процессы и линии автоматизированного производства, обеспечивать их высокую эффективность, контролировать расходование сырья, материалов, энергетических затрат
P4	Обеспечивать радиационную безопасность, соблюдать правила охраны здоровья и труда при проведении работ, выполнять требования по защите окружающей среды; оценивать радиационную обстановку; осуществлять контроль за сбором, хранением и переработкой радиоактивных отходов различного уровня активности с использованием передовых методов обращения с РАО
P5	Уметь планировать и проводить аналитические, имитационные и экспериментальные исследования в области изучения свойств и технологии материалов современной энергетики с использованием новейших 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
P6	Разрабатывать новые технологические схемы, рассчитывать и выбирать оборудование, применять средства автоматизации, анализировать технические задания и проекты с учетом ядерного законодательства
<i>Универсальные компетенции</i>	
P7	Представлять современную картину мира на основе целостной системы естественнонаучных и математических знаний, ориентироваться в ценностях бытия, жизни, культуры; иметь широкую эрудицию, в том числе знание и понимание современных общественных и политических проблем
P8	Воспринимать, обрабатывать, анализировать и обобщать научно-техническую информацию, передовой отечественный и зарубежный опыт в области изучения свойств, методов и технологий получения и переработки материалов современной энергетики

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

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

Институт: Физико-технический
 Направление подготовки (специальность): 240601 Химическая технология материалов современной энергетики
 Кафедра: «Химическая технология редких, рассеянных и радиоактивных элементов»

УТВЕРЖДАЮ:
 Зав. кафедрой
 Р.И. Крайденко
 (Подпись) (Дата)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

дипломного проекта

Студенту:

Группа	ФИО
0402	Усанова Алена Сергеевна

Тема работы:

Проект электролизного цеха для получения золота из технологических растворов производительностью 5000 кг в год

Утверждена приказом директора (дата, номер)

Срок сдачи студентом выполненной работы:

18 января 2016 года

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<p>Электролизный цех для получения золота из технологических растворов производительностью 5000 кг в год. Концентрация анолита: $C_{ан} = 150$ г/л. Выход по току Au: $V_t = 5,50$ %. Плотность тока: $i_k = 1,80$ А/дм². Степень извлечения золота: $\epsilon = 90\%$. Содержание золота в рудном концентрате: $C_{Au}^{конц} = 300$ г/т.</p>
<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Введение. ТЭО. 2. Аналитический обзор существующих методов. 3. Теория выбранного процесса. Разработка и описание аппаратурно-технологической схемы. 4. Расчетная часть. <ol style="list-style-type: none"> 4.1. Расчет материального баланса. 4.2. Расчет теплового баланса. 4.3. Аппаратный расчет. Расчет геометрии и габаритов аппаратов технологической схемы.

	4.4. Механический расчет основного аппарата. 4.5. Гидравлический расчет. 4.6. Энергетический расчет. 5. Автоматизация процесса. 6. Строительная часть. 7. Охрана труда и техника безопасности. 8. Расчет периода окупаемости предприятия.
Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	1. Блок-схема с материальными потоками. 2. Аппаратурно-технологическая схема. 3. План размещения оборудования. 4. Разрез цеха. 5. Сборочный чертеж основного аппарата А1 (ГОСТ 2.001-93..2.034-83). 6. Техничко-экономические показатели.
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Тухватулина Л. Р.
Социальная ответственность	Усов В. Ф.
Автоматизация процесса	Вильнина А. В.
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	12 октября 2015 года
---	----------------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Ворошилов Ф. А.	К.Т.Н.		12.10.15

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0402	Усанова А. С.		12.10.2015

Реферат

Выпускная квалификационная работа 112 с., 8 рисунков, 31 таблица, 20 источников, 2 приложения.

Ключевые слова: электролиз, электролизер, гипохлорит натрия (NaClO), золото, катодный осадок.

Объектом исследования является технология электролизного метода получения золота из технологических растворов.

Цель работы – спроектировать электролизный цех для получения золота из технологических растворов производительностью 5000 кг в год.

В результате исследования определены оптимальные параметры ведения процесса получения золотого порошка методом электролиза.

Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики: габаритные размеры основного аппарата составляют – $L = 1448$ мм, $H = 760$ мм, $N = 720$ мм; соотношение Т:Ж составляет – 1:3; выход по току – $V_t = 5,50$ %, плотность тока – $i_k = 1,80$ А/дм², содержание золота в рудном концентрате – 300 г/т.

Область применения: химическая технология золота.

Экономическая эффективность/значимость работы: капитальные затраты составляют – 6749000 рублей.

ОПРЕДЕЛЕНИЯ, ОБОЗНАЧЕНИЯ, СОКРАЩЕНИЯ, НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ

1. Определения

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

Электроды – электронно-проводящие фазы, контактирующие с ионным проводником (электролитом). Положительно заряженный электрод – анод, отрицательно заряженный – катод.

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

Электролизер – аппарат для электролиза, состоящий из одной или многих электролитических ячеек.

Окислительно-восстановительные реакции (ОВР) – реакции, происходящие с изменением степени окисления атомов, входящих в состав реагирующих веществ. При окислении веществ степень окисления элементов возрастает, при восстановлении – понижается.

Стандартный электродный потенциал – это ЭДС элемента, составленного из данного электрода и стандартного водородного электрода, электродный потенциал которого принят равным нулю.

Водородный показатель (pH) – мера активности (в очень разбавленных растворах она эквивалентна концентрации) ионов водорода в растворе, и количественно выражающая его кислотность, вычисляется как отрицательный (взятый с обратным знаком) десятичный логарифм активности водородных ионов, выраженной в молях на один литр:

$$pH = -\lg[H^+]$$

Так как в кислых растворах $[H^+] > 10^{-7}$, то у кислых растворов $pH < 7$, аналогично, у щелочных растворов $pH > 7$, pH нейтральных растворов равен 7.

Коэффициент фильтрации – скорость фильтрации при напорном градиенте, равном единице.

Растворение – физико-химический процесс, протекающий между твердой и жидкой фазами и характеризующийся переходами твердого вещества в раствор. Растворенным веществом считается тот из компонентов, который при обычных условиях находится в агрегатном состоянии, отличном от агрегатного состояния растворителя.

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

Скорость фильтрации – отношение расхода потока жидкости к площади его (потока) поперечного сечения в единицу времени, мм/час.

Степень извлечения – количество извлеченного из минерала полезного компонента (отношение веса добытого металла к его содержанию в минерале). Обычно выражается в % относительно исходного содержания, реже в долях единицы.

Выщелачивание – перевод в раствор, обычно водный, одного или нескольких компонентов твёрдого материала.

Техника безопасности (охрана труда) – система технических, санитарно-гигиенических и правовых мероприятий, обеспечивающих безопасные для жизни и здоровья условия труда работающих.

Технологический (промышленный) раствор – водный раствор реагентов и продуктов их взаимодействия с рудой и рудовмещающими породами.

2. Обозначения и сокращения

АСУТП – автоматизированная система управления технологическими процессами;

ФСА – функциональная схема автоматизации;

ЭВМ – электронная вычислительная машина;

ЭДС – электродвижущая сила;
КПД – коэффициент полезного действия;
ГП – готовый продукт (продукция);
ППР – плановый предупредительный ремонт;
ТБ – техника безопасности;
ОТ – охрана труда;
СИЗ – средства индивидуальной защиты;
ПДК – предельно допустимая концентрация;
ИТР – инженерно-технический работник;
КИП и А – контрольно измерительные приборы и автоматика;
МОП – младший обслуживающий персонал;
ЗП – заработная плата.

3. Нормативные ссылки

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

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

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

ГОСТ 2.106 - 96 Единая система конструкторской документации. Текстовые документы. 10

ГОСТ 2.301 - 68 Единая система конструкторской документации. Форматы.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

ГОСТ 23838 - 89 Здания предприятий.

ГОСТ 12.4.085 - 80 ОСБТ. Костюмы мужские для защиты от нетоксичных веществ.

ГОСТ 12.4.072 - 79 ОСБТ. Сапоги специальные резиновые форменные, защищающие от соды, минеральных масел и механических воздействий.

ГОСТ 12.4.036 - 78 ОСБТ. Костюмы мужские для защиты от кислот. ТУ.

ГОСТ 12.4.127 - 83 ОСБТ. Обувь специальная кожаная.

ГОСТ 12.4.028 - 76 ОСБТ. Респираторы ШБ 200 "Лепесток".

ГОСТ 12.4.003 - 76 ОСБТ. Очки защитные, тип ЭЛ или ЭН.

ГОСТ 12.4.010 - 75 ОСБТ. Средства индивидуальной защиты.

Рукавицы специальные. ТУ. ТУ 12.4.028 - 76 Респираторы У2К.

ГОСТ 101 - 82 Противогазы промышленные фильтрующие ТУ.

ГОСТ 24.301 - 80 Система технической документации на АСУ. Общие требования к текстовым документам.

ГОСТ 24.302 - 80 Система технической документации на АСУ. Общие требования к выполнению схем.

ГОСТ 24.303 - 80 Система технической документации на АСУ. Обозначения условные графические технических средств.

Оглавление

Введение.....	14
1 Аналитический обзор	17
1.1 Теория процесса.....	17
1.2 Аппаратурное оформления процесса.....	18
2 Объект и методы исследования.....	25
2.1 Технологическая схема	25
3 Расчеты и аналитика	28
3.1 Материальный расчет	28
3.3 Материальный баланс электролизера.....	30
3.4 Электротехнический расчет.....	36
3.5 Тепловой расчет электролизера.....	42
3.6 Материальные балансы узлов цеха	46
3.7 Тепловые балансы узлов цеха	49
3.8 Аппаратурный расчет	51
3.9 Механический расчет	57
3.10 Гидравлический расчет	61
3.11 Расчет габаритов вспомогательного оборудования	66
4 Строительная часть.....	69
4.1 План размещения оборудования	69
4.2 Основание	70
4.3 Фундамент	70
4.4 Наружные стены цеха.....	70
4.5 Колонны	71
4.6 Покрытия	71
4.7 Окна, двери и ворота	72
4.8 Водоснабжени	73
4.9 Канализация.....	73
4.10 Отопление	74
4.11 Результаты проведенной разработки.....	74
5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность ресурсосбережение	75
5.1 Планирование потребности в человеческих ресурсах	75
5.2 Обоснование необходимых инвестиций для разработки и внедрения инженерных решений	75

5.3 Расчет годового фонда заработной платы.....	82
6 Социальная ответственность	90
6.1 Охрана труда и окружающей среды	90
6.2 Опасные и вредные факторы	91
6.3 Электробезопасность	93
6.4 Вентиляция производственных помещений	96
6.5 Освещение	96
6.6 Пожарная безопасность.....	97
6.7 Охрана окружающей среды	99
7 Автоматизация процесса	101
7.1 Описание функциональной схемы автоматизации	101
7.2 Перечень технологических параметров, подлежащих контролю, регулированию, сигнализации.....	102
7.3 Перечень первичных преобразователей	103
7.4 Автоматизация процесса с использованием ЭВМ	106
Заключение	109
Список используемых источников.....	109

Введение

Россия является одной из ведущих золотодобывающих стран. В 2013 году опередив США в мировом рейтинге, теперь занимает третье место по добыче золота - 237,8 тонны против 230,1 тонны в 2012 году.

Лидером по добыче по-прежнему остается Китай (437,3 тонны), на втором месте находится Австралия (259,4 тонны) [1].

А структура международных резервов 10 стран по состоянию на 1 января 2014 года и динамика запасов золота в тоннах по ним за последние 5 лет выглядит так:

Таблица 1 – Запасы золота

№	Страны/ Динамика запасов золота по годам	Запасы золота (тонны)					Международные резервы страны на 01.01.2014 года	
		На 01.01. .20 14	На 01.01. 20 13	На 01.01. 20 12	На 01.01. 20 11	На 01.01. 20 10	Всего (в млн. доллар ов США)	Доля золота в общем объёме международ ных резервов (в %)
1.	США	8133, 5	8133, 5	8133, 6	8133, 6	8133, 6	448 890	70,0
2.	Италия	2451, 9	2451, 9	2451, 9	2451, 9	2451, 9	145 516	65,1
3.	Германия	3387, 2	3391, 4	3396, 2	3400, 9	3406, 8	198 250	66,0
4.	Франция	2435, 4	2435, 4	2435, 4	2435, 4	2435, 4	144 950	64,9
5.	Китай*	1054, 1	1054, 1	1054, 1	1054, 1	1054, 1	3 870 452	1,1

Продолжение Таблицы 1

6.	Швейцария	1 040,1	1 040,1	1 040,1	1 040,1	1 040,1	535 883	7,5
7.	Российская федерация	1 035,2	957,8	883,0	788,6	649,1	509 595	7,8
8.	Япония	765,2	765,2	765,1	765,1	765,1	1 266 815	2,3
9.	Нидерланды	612,5	612,5	612,4	612,4	612,4	46 352	51,0
10.	Индия	556,8	556,8	556,8	556,8	556,8	295 659	7,3

* Запасы золота Китая указаны без учёта Тайваня (провинции Китая)

Итак, на 01.01.2014 Россия находилась на 7 месте по запасам золота среди стран с самым большим золотым резервом в мире. Только США, Германия, Италия, Франция, Китай и Швейцария располагают большим количеством золота[5].

Благородные металлы используются во многих областях науки и техники из-за их уникальных физико-химических свойств.

Области применения золота:

- государственный резерв и частные накопления;
- страховой и резервный фонд для получения валюты в любом банке;
- космическая, оборонная, электронная отрасли промышленности;
- в качестве катализатора;
- в ювелирной технике;
- в медицине (противораковые препараты из солей золота) [2].

Но существует общая проблема мировой золотодобычи характерная и для России. Главным образом, это проблема истощения запасов золота и низкое содержание металла в породе[3].

Широкое применение цианидов требует осторожного обращения и строгих мер безопасности как на самих предприятиях, так и в процессе доставки этого вещества, что, как свидетельствует практика, не всегда

выполняется.

Самая крупная катастрофа в СНГ произошла в мае 1998 г. в Киргизии. Грузовик, перевозивший 20 т цианида натрия, перевернулся на горной дороге, и большая часть опасного груза высыпалась из кузова. В результате аварии часть содержимого контейнера попала в реку Барскаун, впадающую в озеро Иссык-Куль.

Высокая токсичность цианистых растворов, их вредное воздействие на окружающую среду обуславливает необходимость поиска эффективных альтернативных химикатов-растворителей золота.

На данный момент в качестве возможных заменителей цианидного способа исследованы методы выщелачивания с использованием бактерий, бром-бромидного, тиокарбамидного, известково-серного и хлорид-гипохлоритного растворов[4].

Учитывая перечисленные проблемы, появляется необходимость разработки промышленной технологии нецианистого извлечения золота из золотосодержащих упорных руд. Подобным методом является извлечение золота из концентратов гипохлоритным выщелачиванием, с последующей стадией электролиза товарного регенерата.

1 Аналитический обзор

1.1 Теория процесса

При сорбционном способе извлечения золота и серебра из рудных пульп и концентратов в результате десорбции нагруженных ионитов достигается высокая степень концентрации золота в гипохлоритном растворе, то есть в товарном регенерате, что позволяет осадить золото электролизом. Помимо электрохимического осаждения существуют способы цементации и осаждения щелочью, они использовались на начальной стадии внедрения и освоения сорбционных способов извлечения золота и серебра из руд и концентратов, но электролитический способ имеет ряд преимуществ.

Принципиальное преимущество - электролитический способ позволяет получить готовую продукцию в наиболее концентрированном виде, не применяя длительные ручные операции доводки шламов и последующую их подготовку к аффинажу. Сокращается расход реагентов, повышается культура производства, устраняется загрязнение примесями оборотных растворов и тем самым улучшаются показатели процесса регенерации смолы.

В настоящее время электролитический способ осаждения золота и серебра из товарных регенератов является основным промышленным процессом получения готовой продукции на всех действующих сорбционных золотоизвлекательных фабриках[9].

Особенность катодного восстановления золота состоит в том, что вследствие невысокого содержания золота в растворе процесс протекает в режиме предельного тока (скорость осаждения золота контролируется диффузией катионов к поверхности катодов) и при совместном разряде ионов водорода:



Последняя реакция является на катоде доминирующей, катодный выход по току в расчете на золото обычно не превышает 10 – 15 %.

Также на катоде идет процесс восстановления золота:



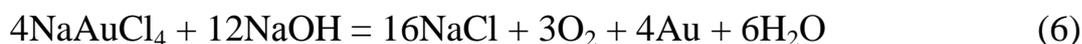
Основной анодный процесс – окисление молекул воды с выделением газообразного кислорода:



Во избежание накопления катионов водорода в электролите катодное и анодное пространства следует разделять. Так как при этом увеличивается рН раствора и золото может перейти в другой комплекс. В анодное пространство будем подавать едкий натр. Тогда на аноде будет идти реакция:



Суммарная реакция будет такой:



Суммарная реакция с разложением воды:



В результате в анодном пространстве расходуется щелочь, часть которой регенерируется за счет разложения воды на катоде [10].

1.2 Аппаратурное оформления процесса

Электролизером называется аппарат, в котором осуществляют процесс электролиза.

Минимально необходимыми составными частями электролизера являются:

- катод;
- анод;
- корпус (ванна);
- в рабочем состоянии электроды погружены в электролит, заполняющий корпус электролизера.

В данной работе используем электролизер с монополярными (без возможности переполюсовки электродов), несплошными электродами (катодами) [11].

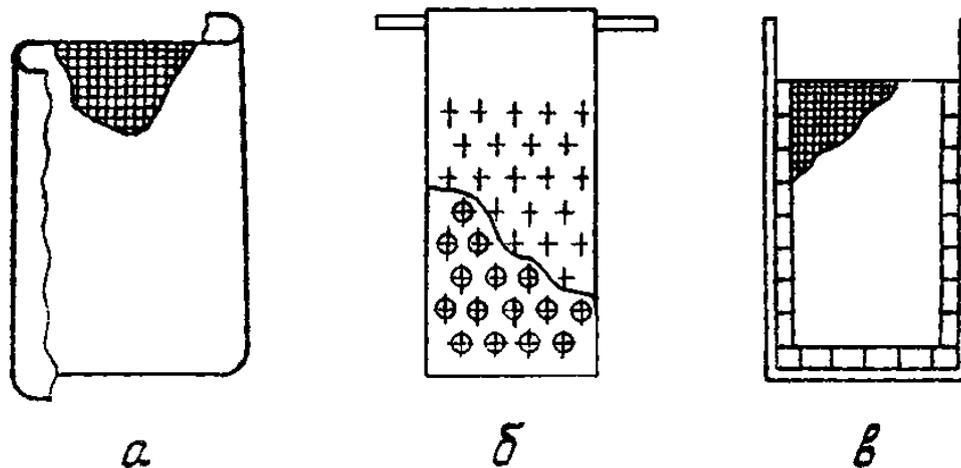


Рисунок 1 - Варианты несплошных электродов: а - часть сетчатого катода хлорного электролизера, б - перфорированный анод электролизера для электроэкстракции марганца; в - сетчатый анод электролизера для получения пероксодвусерной кислоты

Преимущество несплошных катодов в том, что они имеют высокоразвитую удельную поверхность – $0,2 \div 0,3 \text{ м}^2/\text{г}$. Такие катоды могут быть изготовлены из волокнистых углеродистых материалов, которые стойки в агрессивных средах и достаточно электропроводны [10].

То есть скорость осаждения золота при оптимальном потенциале выделения на катоде существенно зависит от площади катодной поверхности. Используем объемно-пористый угляграфитовый электрод. Устройств катодных камер с такими электродами несколько, рассмотрим одно из них.

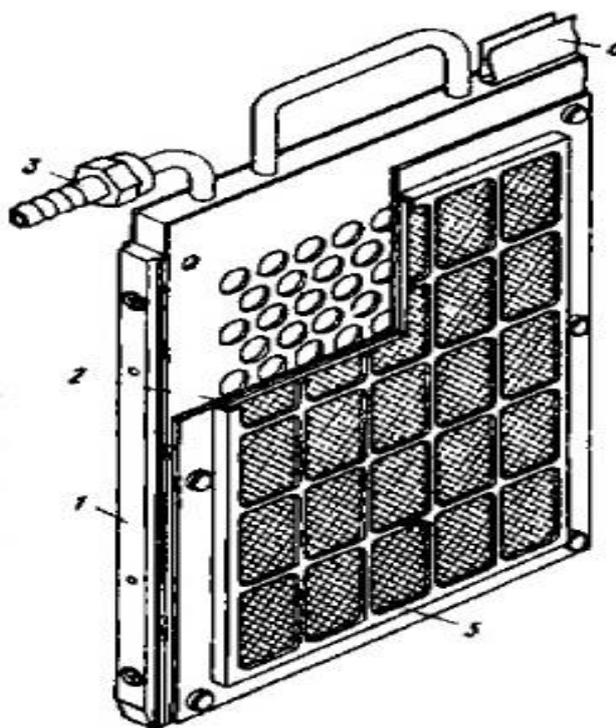


Рисунок 2 - Конструкция катодного блока с углеграфитовым материалом.

1 – корпус; 2 – углеграфитовый материал; 3 – штуцер; 4 – токоподвод;
5 – прижимная сетка

Блок состоит из центральной камеры, к боковым стенкам которой крышкой прижимается слой углеграфитового материала, являющийся собственно катодом. Товарный регенерат через штуцер подается внутрь катодного блока и, проходя через поры между углеграфитовыми волокнами, подвергается электролизу. Рассматриваемый катодный блок с объемно-пористым углеграфитовым электродом имеет те же габаритные размеры, что и пластинчатый катодный блок, но производительность его в 3 - 4 раза выше. 1 грамм углеграфитового материала типа ВВП-66-95 имеет доступную электролизу поверхность $0,3 \text{ м}^2$, как говорилось ранее[9].

Такие волокнистые углеродные материалы, повышающие удельную поверхность и стойки в агрессивных средах, и достаточно электропроводны[10].

Используем войлочно-графитовый катод, золото осаждается лучше, чем на титановом, тем самым гипохлоритный раствор обедняется.

Анод - графит марки АТВ, хорошо проводит электрический ток, электрохимически устойчив в щелочной среде, относительно теплостоек. Разрушение идет только за счет выделяющегося кислорода.

В промышленности используют бездиафрагменные и диафрагменные электролизёры.

В большинстве случаев, диафрагма предназначена для разделения жидких и газообразных продуктов, образующихся на катоде и аноде. Иногда назначение диафрагмы - предотвращение обратного восстановления анодного продукта или обратного окисления катодного продукта.

Различают диафрагмы:

- погруженные (или непроточные),
- фильтрующие (или проточные),
- ионообменные, которые принято называть мембранами.

Электролизеры с ионообменными мембранами весьма перспективны. По своей сущности они непроточны, ток в них переносится определенными ионами, или только катионами, или только анионами.

Для того, чтобы в анодное пространство не попадал NaAuCl_4 , анодное и катодное пространства электролизера разделены анионообменными мембранами, так как анолитом является щелочь[11].

Интенсификация процесса достигается двумя способами, ускоряющими диффузию – перемешивание или нагрев электролита. Нагревать нежелательно, так как ионитовые мембраны имеют невысокую термическую стойкость, до $50\text{ }^\circ\text{C}$ [10].

Исходя из вышесказанного используем перемешивание.

Переход от спокойного электролита к перемешиваемому и затем к энергично циркулируемому позволяет резко усилить перенос разряжаемых ионов и этим создать условия для существенного повышения скорости электролиза без заметного ухудшения качества продукта.

Электролизеры с перемешиваемым электролитом многочисленны и разнообразны, как разнообразны способы перемешивания.

Различают следующие способы перемешивания:

- естественные
- принудительные.

Естественное перемешивание происходит за счет газов, образующихся электрохимически (водорода, кислорода, хлора).

Используем естественное перемешивание[11].

Перемешиванию электролита способствует выделение на катоде газообразного водорода. С повышением силы тока, протекающего через электролизер, количество выделяющегося водорода возрастает и растет интенсивность перемешивания. Однако одновременно вследствие экранирования катода пузырьками выделяющегося газа уменьшается эффективная поверхность осаждения золота. Поэтому для каждого электролизера существует оптимальная токовая нагрузка, при которой производительность аппарата максимальна. Дополнительное перемешивание достигается созданием циркуляции католита через катодное пространство[9].

Устройство электролизера рассмотрим на примере ЭУ-1[12].

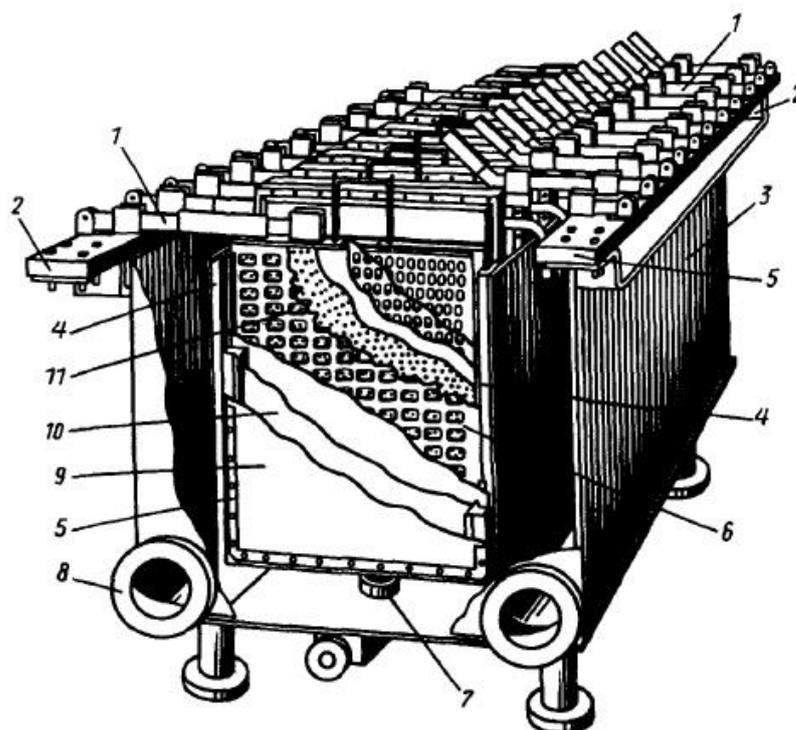


Рисунок 3 - Электролизер ЭУ-1.

1 - токоподводы; 2 - шины; 3 - корпус; 4 - направляющие; 5 - планки; 6 - катод; 7 - штуцер; 8 - патрубки для вывода католита и анолита; 9 - мембрана; 10 – анод; 11 - винипластовая сетка.

Анолит и товарный раствор подаются в рабочие камеры и спиваются через патрубки. Катодный раствор (товарный регенерат) подается в катодные блоки и фильтруется через углеграфитовый электрод. По мере заполнения металлом пор углеграфитового электрода скорость протока раствора через катодные блоки постепенно падает, однако до определенного момента она остается почти постоянной. И только резкое снижение скорости протока католита свидетельствует о максимальном осаждении золота. В этом случае процесс прекращают, катодные блоки извлекают из электролизера и освобождают их от катодного осадка, после чего снова заряжают блоки углеграфитовым материалом и процесс возобновляют[9].

Электролизер представляет собой бак прямоугольной формы, литой из винипласта. На боковых стенках электролизера сделаны углубления для закрепления электродов. Для того, чтобы в анодное пространство не попадал

NaAuCl_4 , анодное и катодное пространства электролизера разделены анионообменными мембранами. Соответственно, в анодное пространство электролизёра поступает анолит, в катодное – католит. Все детали электролизера (кроме мембраны) сделаны из винипласта.

2 Объект и методы исследования

2.1 Технологическая схема

Процесс электролиза золота из товарного регенерата состоит из нескольких технологических операций: фильтрации товарного раствора, электролиза, промывки и сушки катодного осадка в катодных блоках, съемки осадка и его обжига, взвешивания и затаривания готовой продукции[5].

Чтобы катоды не забивались взвешенными частицами товарный регенерат поступает на фильтрпрессы перед электролизом. Электролиз ведется в циркуляционном режиме, рисунок 4.[9] Товарный регенерат закачивается в напорную емкость 1, которая располагается над электролизером 2 и самотеком поступает в электролизную ванну. Выходящий из электролизера раствор центробежным насосом 3 или аэролифтом снова закачивается в напорную емкость. Таким образом, в процессе электролиза товарный регенерат циркулирует между рабочей емкостью и электролизером до заданного предела извлечения золота и серебра из раствора в катодный осадок. Режим электролизера в этом случае (скорость протока раствора, катодную плоскость тока, напряжение) выбирают таким образом, чтобы обеспечить максимальную скорость осаждения благородных металлов на катоде.

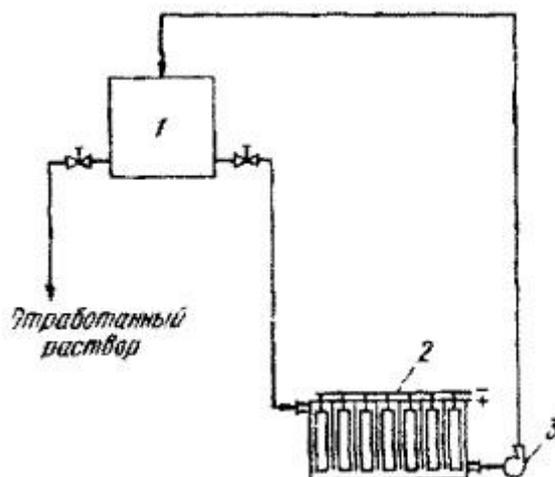


Рисунок 4 - Схема работы электролизера в циркуляционном режиме.

Принципиальная схема цепи аппаратов электролизного узла показана на рисунке 5.

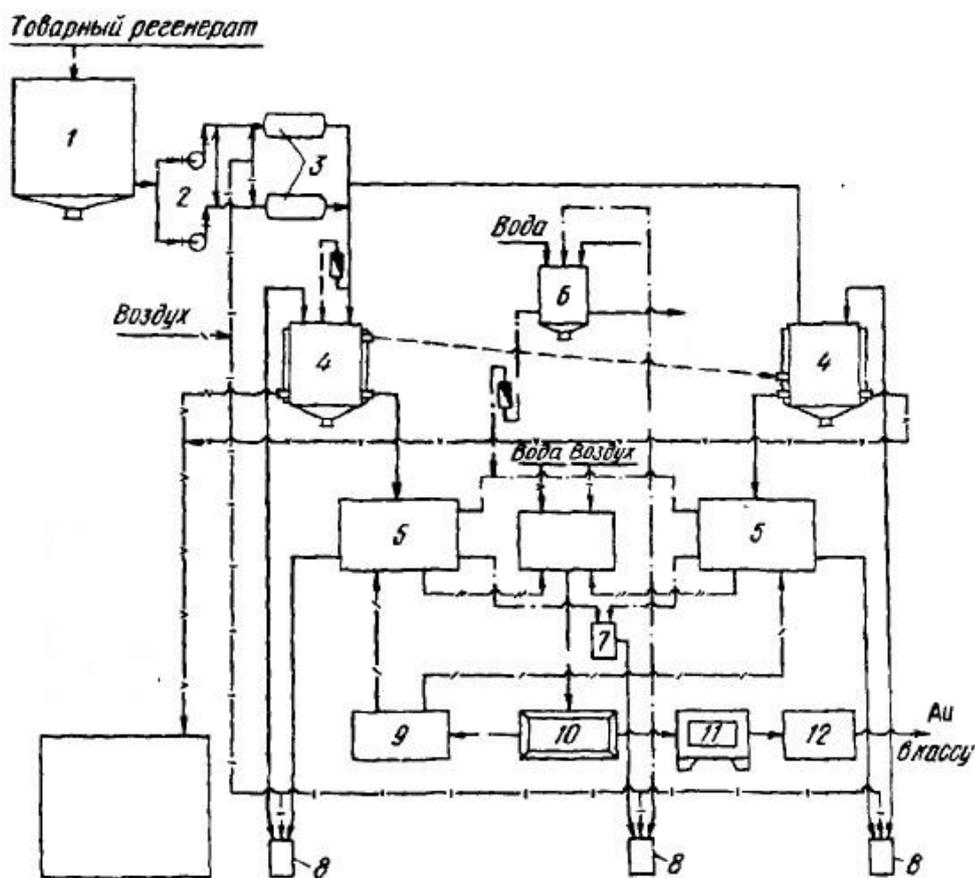


Рисунок 5 - Принципиальная схема цепи аппаратов электролизного цеха.

Раствор из сборника товарного регенерата 1 химическими насосами 2 подается в фильтрпрессы 3, где отделяются взвешенные частицы ила, щепы и раздробленной смолы. Отфильтрованный регенерат сливается в напорный бак 4, откуда раствор самотеком поступает в электролизер. Частично обеззолоченный раствор аэролифтом 8 через воздухоотделитель 7 подается снова в напорную емкость 4, и, таким образом, регенерат циркулирует между электролизером и напорной емкостью до достижения заданного остаточного содержания металла в растворе. Анолит из емкости 6 подается в анодные камеры электролизера и с помощью аэролифтов 8 циркулирует до определенного накопления кислоты в растворе, после чего раствор сливают и подают на кислотную обработку смолы, а в емкость б заливают свежий раствор. Промывка и сушка катодного осадка в катодных блоках производятся в самом электролизере 5, для чего к электролизной ванне подведены магистрали сжатого воздуха и воды. Сначала в катодные блоки в течение 5 - 10 мин подается свежая вода, а затем включается подача сжатого воздуха, при помощи которого из осадка удаляется влага.

Промытый и осушенный осадок извлекают из катодных блоков на столе для съема осадка 10. Слегка влажный осадок помещают на противни из титана и обжигают в электропечи сопротивления 11. При обжиге углеграфитовый материал выгорает и на противне остается металлизированный осадок в виде спекшихся комков.

Помещение для электролиза должно быть также оборудовано столом для сборки катодных камер 9 и техническими весами 12 для взвешивания готовой продукции[5].

3 Расчеты и аналитика

3.1 Материальный расчет

Исходные данные:

- концентрация анолита: $C_{an} = 150$ г/л;
- выход по току Au: $B_T = 5,50$ %;
- плотность тока: $i_k = 1,80$ А/дм²;
- степень извлечения золота: $\varepsilon = 90$ %;
- концентрация NaClO (по активному хлору): $C_{NaClO} = 100$ г/л;
- содержание золота в рудном концентрате: $C_{Au}^{конц} = 300$ г/т;
- соотношение твёрдой и жидкой фаз: Т:Ж $\approx 1 : 3$;
- плотность рудного концентрата: $\rho = 2000$ кг/м³;
- производительность электролизёра по золоту:

$$Q_{эл-ра} = 2000 \text{ кг/год.}$$

Процесс выщелачивания длится 12 часов.

Определим массу руды, загружаемой в агитатор. Для этого рассчитаем время работы электролизёра за год:

$$T_{раб}^{год} = T_{эфф}^{год} - T_{прост}^{эл}; \quad (1)$$

где $T_{раб}^{год}$ – время работы электролизера (за год);

$T_{эфф}^{год}$ – календарный фонд времени оборудования,

$$T_{эфф}^{год} = 365 \text{ дней} = 8760 \text{ ч};$$

$T_{прост}^{эл}$ – время простоя одного электролизера (за год).

$$T_{прост}^{эл} = T_{кап} + T_{рем} + T_{вын. прост} = 292 + 212 + 166 = 670 \text{ ч.} \quad (2)$$

$$T_{раб}^{год} = 8760 - 670 = 8090 \text{ ч.}$$

Примем, что $T_{раб}^{год} = 8088$ ч.

Определим массу золота, извлекаемого за 12 часов (при степени извлечения 90%):

$$m_{\text{Au}}^{90} = \frac{Q \cdot \tau \cdot 1000}{8088}; \quad (3)$$

где Q – производительность электролизёра по золоту, $Q = 2000$ кг/г;

τ – время выщелачивания, $\tau = 12$ ч.

$$m_{\text{Au}}^{90} = \frac{2000 \cdot 12 \cdot 1000}{8088} = 2967,36 \text{ г Au/12 ч.}$$

Учитывая степень выщелачивания, определим истинное содержание золота в концентрате m_{Au}^{100} :

2967,36– 90%

m_{Au}^{100} - 100%

$$m_{\text{Au}}^{100} = \frac{100 \cdot 2967,36}{90} = 3297,07 \text{ г Au/12 ч.} \quad (4)$$

Определим массу рудного концентрата, загружаемого в агитатор $m_{\text{конц}}$:

1000 кг конц-та – 300 г Au

$m_{\text{конц}}$ кг конц-та – 3297,07 г Au

$$m_{\text{конц}} = \frac{1000 \cdot 3297,07}{300} = 10\,990,23 \text{ кг конц-та.} \quad (5)$$

Объём, занимаемый рудным концентратом:

$$V = \frac{m}{\rho}; \quad (6)$$

где V – объём, занимаемый рудным концентратом;

ρ – плотность рудного концентрата, $\rho = 2000$ кг/м³;

m – масса рудного концентрата.

$$V = \frac{10\,990,23}{2000} = 5,495 \text{ м}^3 = 5495 \text{ л.}$$

Определим объём пульпы:

$$V_{\text{п}} = n \cdot V_{\text{к}}; \quad (7)$$

где $V_{\text{п}}$ - объём пульпы;

n – число загрузок, $n = 18$ за 12 ч = 720 мин;

V_K - объём католита, загружаемого в электролизёр, $V_K = 1000$ л.

$$V_{II} = 18 \cdot 1000 = 18000 \text{ л};$$

Концентрация золота в католите:

$$C_{Au} = \frac{m_{Au}^{90}}{V} = \frac{2967.36}{18000} = 0,1648 \text{ г/л.} \quad (8)$$

3.3 Материальный баланс электролизера

Задачей материального расчета является расчет состава отработанного товарного регенерата и состава вытекающего анолита.

Перед началом расчетов составим схему входящих в электролизер и выходящих из него материальных потоков (статьи прихода и расхода).

3.3.1 Приходная часть

Анолит

$\rho_{ан} = 1150 \text{ кг/м}^3 = 1150 \text{ г/л}$ – плотность анолита;

$v_{ан} = 11,0 \text{ л/ч}$ – скорость подачи анолита.

Рассчитаем общий приход анолита:

$$G_{ан} = \rho_{ан} \cdot v_{ан} = 1150 \cdot 11,0 = 12650 \text{ г/ч;} \quad (9)$$

В том числе, учитывая начальную C_{NaOH} в анолите = 150 г/л, найдем:

$$G_{NaOH}^{ан.} = 11,0 \cdot 150 = 1650 \text{ г/ч;} \quad (10)$$

$$G_{пр.H_2O}^{ан.} = 12650 - 1650 = 11000 \text{ г/ч.} \quad (11)$$

Католит

$\rho_{кат} = 1100 \text{ кг/м}^3 = 1100 \text{ г/л}$ – плотность католита,

$v_{кат} = 0,85 \text{ м}^3/\text{ч} = 850 \text{ л/ч}$ – скорость подачи католита.

Рассчитаем общий приход католита:

$$G_{кат} = \rho_{кат} \cdot v_{кат} = 1100 \cdot 850 = 935000 \text{ г/ч;} \quad (12)$$

В том числе, учитывая начальную $C_{Au} = 0,08242$ г/л – содержание золота в товарном регенерате, а также, зная молярную массу комплекса $NaAuCl_4$ (362 г/моль) и атомную массу золота (197 г/моль), можно рассчитать концентрацию этого комплекса в католите:

$$C_{\text{комплекса}} = C_{Au} \cdot M_{\text{комп.}} / M_{Au}; \quad (13)$$

$$C_{\text{комплекса}} = 0,08242 \cdot 362 / 197 = 0,2467 \text{ г/л.}$$

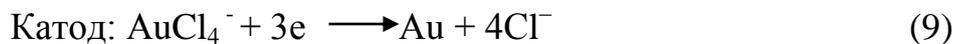
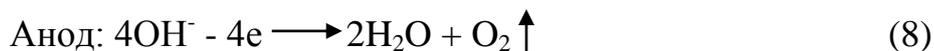
Рассчитаем приход $NaAuCl_4$:

$$G_{NaAuCl_4}^{пр.} = 0,2467 \cdot 850 = 209,73 \text{ г/ч}; \quad (14)$$

$$G_{H_2O}^{пр.} = 935000 - 209,73 = 934790,27 \text{ г/ч.} \quad (15)$$

3.3.2 Расходная часть

Реакции, протекающие на электродах:



Суммарная реакция:



Анолит

Выделение кислорода:

Рассмотрим реакцию, проходящую на аноде:



Рассчитаем расход кислорода по формуле:

$$G_{O_2} = q_{O_2} \cdot I \cdot \tau \cdot B_T; \quad (16)$$

где q_{O_2} – электрохимический эквивалент.

$$q_{O_2} = \frac{M}{z \cdot F} = \frac{32}{1 \cdot 26,8} = 1,194 \frac{\text{г}}{\text{А} \cdot \text{ч}}; \quad (17)$$

$$I = 847 \text{ А}$$

$$\tau = 1 \text{ час},$$

$V_T = 100\%$ (другой реакции на аноде нет).

$$G_{O_2} = 1,194 \cdot 847 \cdot 1 \cdot 1 = 1011,318 \text{ г.}$$

Расход OH^- :

По реакции, рассмотренной выше, найдем расход OH^- на выделение кислорода:

$$n(O_2) = \frac{m(O_2)}{M(O_2)} = \frac{1011,318}{32} = 31,60 \text{ моль.} \quad (18)$$

$$n(\text{OH}^-) = 3 \cdot n(O_2) = 3 \cdot 31,60 = 94,8 \text{ моль.} \quad (19)$$



$$m_1(\text{H}_2\text{O}) = n(\text{H}_2\text{O}) \cdot M(\text{H}_2\text{O}) = 94,8 \cdot 18 = 1706,4 \text{ г/ч.} \quad (20)$$

Рассчитаем количество образовавшейся воды:

$$n(\text{H}_2\text{O}) = 2 \cdot n(O_2) = 2 \cdot 31,6 = 63,2 \text{ моль.} \quad (21)$$

$$m_2(\text{H}_2\text{O}) = n(\text{H}_2\text{O}) \cdot M(\text{H}_2\text{O}) = 63,2 \cdot 18 = 1137,6 \text{ г/ч.} \quad (22)$$

Тогда количество израсходованной воды равно:

$$G_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{разл}} = (H_2O) = m_1(H_2O) - m_2(H_2O) = 1706,4 - 1137,6 = 568,8 \text{ г/ч.} \quad (23)$$

Рассчитаем количество образовавшихся ионов H^+ :

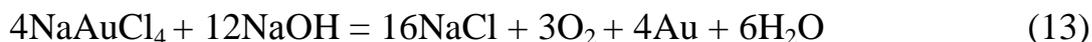
$$n(\text{H}_2\text{O}) = \frac{m(\text{H}_2\text{O})}{M(\text{H}_2\text{O})} = \frac{568,8}{18} = 31,6 \text{ моль;} \quad (24)$$

$$n(\text{H}_2\text{O}) = n(\text{H}^+) = 31,6 \text{ моль;} \quad (25)$$

$$m(\text{H}^+) = n(\text{H}^+) \cdot M(\text{H}^+) = 31,6 \cdot 1 = 31,6 \text{ г/ч.} \quad (26)$$

Катодит

Рассмотрим суммарную реакцию:



Рассчитаем выход Au-содержащего шлама по формуле:

$$q_{\text{Au}} = \frac{M_{\text{Au}}}{z \cdot F} = \frac{197}{3 \cdot 26,8} = 2,45 \text{ г/А}\cdot\text{ч}; \quad (27)$$

$$G_{\text{Au}} = q_{\text{Au}} \cdot I \cdot \tau \cdot \text{Вт} = 2,45 \cdot 847 \cdot 1 \cdot 0,055 = 114,13 \text{ г/ч}; \quad (28)$$

$$n(\text{Au}) = \frac{m(\text{Au})}{M(\text{Au})} = \frac{114,13}{197} = 0,5794 \text{ моль}; \quad (29)$$

$$n(\text{NaAuCl}_4) = n(\text{Au}) = 0,5794 \text{ моль}; \quad (30)$$

$$G_{\text{NaAuCl}_4}^{\text{изр.}} = n_{\text{NaAuCl}_4} \cdot M_{\text{NaAuCl}_4} = 0,5794 \cdot 362 = 209,73 \text{ г/ч}; \quad (31)$$

$$G_{\text{NaAuCl}_4}^{\text{ост.}} = G_{\text{NaAuCl}_4}^{\text{пр.}} - G_{\text{NaAuCl}_4}^{\text{изр.}} = 209,73 - 209,73 = 0 \text{ г/ч}; \quad (32)$$

$$G_{\text{NaCl}} = n_{\text{NaCl}} \cdot M_{\text{NaCl}} = 2,3176 \cdot 58,5 = 135,58 \text{ г/ч}; \quad (33)$$

Теперь найдем расход воды, пошедшей на выделение кислорода и водорода.

Для этого, сначала необходимо найти выделение водорода.

G_{H_2} найдем по формуле:



$$q_{\text{H}_2} = \frac{M_{\text{H}_2}}{z \cdot F} = \frac{2}{2 \cdot 26,8} = 0,037 \text{ г/А}\cdot\text{ч}; \quad (34)$$

$$G_{\text{H}_2} = q_{\text{H}_2} \cdot I \cdot \tau \cdot \text{Вт} = 0,037 \cdot 847 \cdot 1 \cdot 0,995 = 31,2 \text{ г}; \quad (35)$$

$$n(\text{H}_2) = \frac{m(\text{H}_2)}{M(\text{H}_2)} = \frac{31,2}{2} = 15,6 \text{ моль}; \quad (36)$$

$$n(\text{H}_2\text{O}) = 2 \cdot n(\text{H}_2) = 31,2 \text{ моль}; \quad (37)$$

$$G_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{H}_2} = n(\text{H}_2\text{O}) \cdot M(\text{H}_2\text{O}) = 31,2 \cdot 18 = 561,6 \text{ г/ч}. \quad (38)$$

Выход по току примесей учитывать не будем т.к. плотность тока очень мала $1,80 \text{ А/дм}^2$ и примесей на катоде осаждается намного меньше, чем золота.

Зная, что 1 моль водорода (2 г) занимает 22.4 л, а 561,6 г водорода занимает V_{H_2} , рассчитаем объем выделившегося водорода:

$$V_{\text{H}_2} = 22,4 \cdot 561,6/2 = 6289,9 \text{ л/ч} = 6,2899 \text{ м}^3/\text{ч}. \quad (39)$$

Таким же образом рассчитаем объем выделившегося кислорода:

$$V_{\text{O}_2} = 22,4 \cdot 566 /32 = 396,2 \text{ л/ч} = 0,3962 \text{ м}^3/\text{ч}. \quad (40)$$

Учитывая содержание водяного пара в газах ($82,94 \text{ г/м}^3$) при 50°C рассчитаем расход воды, испарившейся с выделившимся водородом:

$$G_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{H}_2} = 6,2899 \cdot 82,94 = 521,68 \text{ г/ч}; \quad (41)$$

и с выделившимся кислородом:

$$G_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{O}_2} = 0,3962 \cdot 82,94 = 32,86 \text{ г/ч}. \quad (42)$$

Теперь рассчитаем расход воды, испарившейся с зеркала электролита (католита и анолита), уносимой с воздухом в вентиляционную систему.

Учитывая нижний концентрационный предел взрываемости водорода в смеси с воздухом, равный 4%, примем концентрацию водорода = 1%.

Т.о. рассчитаем объем воздуха:

$$V_{\text{возд.}} = 1,227 \cdot 100/1 = 122,7 \text{ м}^3/\text{ч}. \quad (43)$$

Воздух засасывается с температурой в помещении 20°C с 60% влажностью. Примем температуру воздуха, отсасываемого из электролизера 30°C с влажностью 70%.

При 100% влажности и температуре воздуха 20°C содержание водяного пара в воздухе составит $17,29 \text{ г/м}^3$. При 60% влажности и той же температуре содержание водяного пара составит:

$$17,29 \cdot 0,6 = 10,374 \text{ г/м}^3; \quad (44)$$

а при 70% влажности и температуре 30°C, содержание водяного пара составит:

$$30,36 \cdot 0,7 = 21,252 \text{ г/м}^3. \quad (45)$$

Испарение составит:

$$21,252 \cdot 10,374 = 10,878 \text{ г/м}^3. \quad (46)$$

Зная объем воздуха и содержание испарившегося водяного пара, можно найти расход воды, испарившейся с зеркала электролита:

$$G_{H_2O}^{\text{возд.}} = 1,36 \cdot 10,878 = 14,79 \text{ г/ч.} \quad (47)$$

Найдем общий расход воды:

$$G_{H_2O}^{\text{расх.}} = G_{H_2O}^{H_2} + G_{H_2O}^{O_2} + G_{H_2O}^{\text{возд.}} = 521,68 + 32,86 + 14,79 = 569,33 \text{ г/ч.} \quad (48)$$

Учитывая, что зеркало анолита занимает 25% от общей площади, найдем расход воды, испарившейся из анолита:

$$G_{1 H_2O}^{\text{возд.}} = 14,79 \cdot 0,25 = 3,7 \text{ г/ч,} \quad (49)$$

Теперь найдем количество воды в выходящем анолите:

$$G_{p.H_2O}^{\text{ан.}} = G_{\text{пр.}H_2O}^{\text{ан.}} - (G_{1 H_2O}^{\text{возд.}} + G_{H_2O}^{O_2} + G_{H_2O}^{\text{расх.}}) = 11000 - (3,7 + 32,86 + 569,33) \\ = 10394,64 \text{ г/ч.} \quad (50)$$

Таким же образом найдем расход воды, испарившейся из католита.

Зная, что зеркало католита занимает 75% от общей площади, найдем:

$$G_{2 H_2O}^{\text{возд.}} = 14,79 \cdot 0,75 = 11,1 \text{ г/ч.} \quad (51)$$

Количество воды в выходящем католите будет составлять:

$$G_{p.H_2O}^{\text{кат.}} = G_{\text{пр.}H_2O}^{\text{кат.}} - (G_{2 H_2O}^{\text{возд.}} + G_{H_2O}^{H_2}) = 933125,75 - (11,1 + 521,68) = \\ = 932592,97 \text{ г/ч.} \quad (52)$$

Таблица 2 - Материальный баланс.

Приход	г/ч	Расход	г/ч
1. Анолит	12 650	1. Анолит	12 076,24
в том числе		в том числе	
а) NaOH	1 650	а) NaOH	1 650
б) H ₂ O	11 000	б) H ₂ O	10 394,64
		в) H ⁺	31,60
		2. Выд. O ₂	1 011,32
3. Католит	935 000	3. Католит	932 938,28
в том числе		в том числе	
а) NaAuCl ₄	209,73	а) NaAuCl ₄	209,73
б) H ₂ O	934 790,27	б) H ₂ O	932 592,97
		в) NaCl	135,58
		4. Золотосодержащий катодный осадок	114,13
		5. Выд. H ₂	31,20
		6. Потери H ₂ O исп.	569,33
		7. Неучтенные потери (0,09%)	909,50
Итого:	947 650	Итого:	947 650

3.4 Электротехнический расчет

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

3.4.1 Составляющие напряжения на электролизере

$$U_{\text{ван}} = E_{\text{разл}} + \eta_{\text{O}_2} + \Delta E_{+} + \Delta E_{-} + \Delta U_{\text{эл-та}} + \Delta U_{\text{мемб}} + \Delta U_{\text{конт}}; \quad (53)$$

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

η_{O_2} – перенапряжение выделения O₂ на графите, В;

ΔE_{+} , ΔE_{-} – поляризация анода и катода (находится по поляризационным кривым), В;

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

$\Delta U_{\text{мемб}}$ – падение напряжения в мембране, В;

$\Delta U_{\text{конт}}$ – падение напряжения в контактах, В.

Рассчитаем $E_{\text{разл}}$:

$$E_{\text{разл}} = E_+ - E_-; \quad (54)$$

где E_+ , E_- – равновесные потенциалы анода и катода, которые определяются по уравнению Нернста:

$$E = E^0 + \frac{R \cdot T}{z \cdot F} \cdot \frac{\ln a_{\text{ок}}}{a_{\text{восст}}}; \quad (55)$$

Рассмотрим реакцию, проходящую на аноде:



$$E_{\text{O}_2/\text{OH}^-}^0 = +0,401 \text{ В}, n=2$$

Найдем E_+ :

$$E_+ = E^0 + \frac{R \cdot T}{n \cdot F} \cdot \ln \frac{P_{\text{O}_2}^{1/2} \cdot a_{\text{H}_2\text{O}}}{a_{\text{OH}^-}^2}; \quad (56)$$

$$R=8,31 \text{ Дж/моль} \cdot \text{К}$$

$$T=303 \text{ К}$$

$$F=96500 \text{ Кл}$$

Т.к. $P_{\text{O}_2} = 1$, то:

$$E_+ = +0,401 + \frac{8,31 \cdot 303 \cdot 2,303}{2 \cdot 96500} \cdot \lg \frac{a_{\text{H}_2\text{O}}}{a_{\text{OH}^-}^2} = +0,401 + 0,03 \cdot \lg \frac{a_{\text{H}_2\text{O}}}{a_{\text{OH}^-}^2}.$$

Найдем концентрацию иона OH^- ($C_{\text{NaOH}} = 150 \text{ г/л}$):

$$C_{\text{OH}^-} = \frac{150 \cdot 17}{40} = 63,75 \text{ г} \cdot \text{ион/л}. \quad (57)$$

Активность иона OH^- :

$$a_{\text{OH}^-} = C_{\text{OH}^-} \cdot \gamma_{\text{OH}^-} \quad (58)$$

$$\gamma_{\text{OH}^-} = 0,75$$

$$a_{\text{OH}^-} = 63,75 \cdot 0,75 = 47,81$$

Активность H_2O : $a_{\text{H}_2\text{O}} = 0,98$.

$$E_+ = +0,401 + 0,03 \cdot \lg \frac{0,98}{47,81^2} = 0,299 \text{ В.}$$

Теперь рассмотрим реакцию, проходящую на катоде:



$$E_{\text{AuCl}_4^-/\text{Au}}^0 = 1,58 \text{ В, } n=3$$

Найдем E_- будет равен:

$$E_- = E_{\text{AuCl}_4^-/\text{Au}}^0 + \frac{R \cdot T}{n \cdot F} \cdot \ln \frac{a_{\text{AuCl}_4^-}}{a_{\text{Au}} \cdot a_{\text{Cl}^-}^4}; \quad (59)$$

$$E_- = 1,58 + \frac{8,31 \cdot 303 \cdot 2,303}{3 \cdot 96500} \cdot \lg \frac{a_{\text{AuCl}_4^-}}{a_{\text{Au}} \cdot a_{\text{Cl}^-}^4};$$

$a_{\text{Au}} = 1$, т.к. Au не диссоциирует на ионы.

$$E_- = 1,58 + 0,02 \cdot \lg \frac{a_{\text{AuCl}_4^-}}{a_{\text{Cl}^-}^4}.$$

Найдем концентрацию иона AuCl_4^- ($C_{\text{Au}^{+3}} = 0,08242 \text{ г/л}$):

$$C_{\text{AuCl}_4^-} = \frac{0,08242 \cdot 339}{197} = 0,14 \text{ г} \cdot \text{ион/л}; \quad (60)$$

Активность иона AuCl_4^- :

$$a_{\text{AuCl}_4^-} = C_{\text{AuCl}_4^-} \cdot \gamma_{\text{AuCl}_4^-}; \quad (61)$$

$$\gamma_{\text{AuCl}_4^-} = 1.$$

$$a_{\text{AuCl}_4^-} = 0,14 \cdot 1 = 0,14.$$

Найдем концентрацию иона Cl^- :

$$C_{\text{Cl}^-} = \frac{0,14 \cdot 35,5}{197} \cdot 4 = 0,1 \text{ г} \cdot \text{ион/л}; \quad (62)$$

Активность иона Cl^- :

$$a_{\text{Cl}^-} = C_{\text{Cl}^-} \cdot \gamma_{\text{Cl}^-} \quad (63)$$

$$\gamma_{\text{Cl}^-} = 0,57.$$

$$a_{\text{Cl}^-} = 0,1 \cdot 0,57 = 0,057$$

$$E_- = 1,58 + 0,02 \cdot \lg \frac{0,14}{0,057^4} = 1,58 + 0,0872 = 1,66 \text{ В.}$$

Электролитический потенциал E:

$$E = E_+ - E_- = 0,299 - 1,66 = -1,361 \text{ В.} \quad (64)$$

Напряжение разложения:

$$E_{\text{разл}} = -E = 1,361 \text{ В.} \quad (65)$$

Найдем перенапряжение выделения O_2 на графитизированном войлоке:

$$\eta_{O_2} = E_{O_2/OH^-}^0 - E_+ = 0,401 - 0,299 = 0,102 \text{ В.} \quad (66)$$

Теперь найдем ΔE_+ и ΔE_- .

Поляризация катода равна разнице между потенциалом выделения золота на катоде и равновесным потенциалом катода.

$$\Delta E_- = 1,58 - 1,66 = -0,08 \text{ В.} \quad (67)$$

Из-за отсутствия поляризационной кривой выделения O_2 на войлочно-графите, примем $\Delta E_+ = 0,5 \text{ В}$.

Рассчитаем падение напряжения в электролите:

$$\Delta U_{\text{эл-та}} = \Delta U_{\text{эл.}}^{\text{ан}} + \Delta U_{\text{эл.}}^{\text{кат}}; \quad (68)$$

где $\Delta U_{\text{эл.}}^{\text{ан}}$ – падение напряжения в анолите, В;

$\Delta U_{\text{эл.}}^{\text{кат}}$ – падение напряжения в католите, В;

Которые можно найти по формуле:

$$\Delta U_{\text{эл.}} = \frac{I \cdot \rho_{\text{эл-та}} \cdot L}{S} = i \cdot \rho_{\text{эл-та}} \cdot L; \quad (69)$$

где $I = 847 \text{ А}$,

i – плотность тока, $i_A = 50 \cdot 10^{-4} \text{ А/см}^2$;

$\rho_{\text{эл-та}}$ – удельное сопротивление электролита, Ом·см;

L – межэлектродное расстояние, см.

Найдем падение напряжения в анолите при $C_{NaOH}^{\text{ан}} = 150 \text{ г/л}$,
 $\rho_{\text{ан}} = 8,1 \text{ Ом} \cdot \text{см}$ [6].

Для анолита L – это расстояние от анода до мембраны ($L_a = 1 \text{ см}$).

$$\Delta U_{\text{эл.}}^{\text{ан}} = 50 \cdot 10^{-4} \cdot 8,1 \cdot 1 = 0,0405 \text{ В.}$$

Теперь найдем падение напряжения в католите при $C_{Au^{3+}} = 0,08242$ г/л, $\rho_{кат} = 142,4$ Ом·см.

Для католита L – это среднее расстояние от мембраны до катода.

Согласно конструкции, минимальное расстояние до катода составляет 40 мм.

$$L_k = 4 \text{ см}, i_k = 1,80 \cdot 10^{-2} \text{ А/см}^2$$

$$\Delta U_{эл.кат} = 1,80 \cdot 10^{-2} \cdot 142,4 \cdot 4 = 10,2528 \text{ В.}$$

Т.о:

$$\Delta U_{эл-та} = 0,093 + 10,71 = 10,2933 \text{ В.}$$

Теперь рассчитаем падение напряжения в мембране:

$$\Delta U_{мемб} = \frac{I \cdot \rho_{мемб} \cdot \delta_{мемб}}{S_{мемб}} = i \cdot \rho_{мемб} \cdot \delta_{мемб}; \quad (70)$$

где $\rho_{мемб}$ – удельное сопротивление мембраны, Ом·см;

$\delta_{мемб}$ – толщина мембраны, $\delta_{мемб} = 0,05$ см.

В связи с отсутствием данных по удельному сопротивлению анионообменной мембраны в кислых средах, принимаем значение, равное половине значения $\rho_{мемб}^{HCl} = 182$ Ом·см – удельное сопротивление анионообменной мембраны в растворе KCl [6].

Тогда $\rho_{мемб}^{NaOH} = \rho_{мемб} = 91$ Ом·см.

$$\Delta U_{мемб} = 50 \cdot 10^{-4} \cdot 91 \cdot 0,05 = 0,02275 \text{ В.}$$

Так как контакты медные, принимаем $\Delta U_{конт} = 0,5$ В.

Найдем общее напряжение на ванне:

$$U_{ван} = 1,361 + 0,102 + 0,5 - 0,08 + 10,2933 + 0,02275 + 0,5 = 12,2 \text{ В.}$$

3.4.2 Напряжение на выпрямителе

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

$$U_{ист} = U_{ван} + \Delta U_{пот}; \quad (71)$$

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

$$\Delta U_{\text{пот}} = \frac{I \cdot \rho_{\text{Cu}} \cdot l_{\text{пр}}}{S_{\text{пр}}}; \quad (72)$$

где ρ_{Cu} – удельное сопротивление меди, $\rho_{\text{Cu}} = 1.68 \cdot 10^{-6}$ Ом·см;

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

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

Найдем сечение провода по формуле:

$$S_{\text{пр}} = \frac{I}{i_{\text{прох}}}; \quad (73)$$

где $i_{\text{прох}}$ – допустимая проходная плотность тока в проводах, $i_{\text{прох}} = 3$ А/мм².

$$S_{\text{пр}} = 847/3 = 283 \text{ мм}^2 = 2,83 \text{ см}^2.$$

т.о. примем кабель из медного провода сечением 3 см², марка кабеля – ПсВГ (силовой кабель с медными жилами в оболочке из поливинилхлоридного пластика)[11].

$$\Delta U_{\text{пот}} = \frac{847 \cdot 1.68 \cdot 10^{-6} \cdot 1000}{3} = 0,474 \text{ В.}$$

Находим напряжение на выпрямителе:

$$U_{\text{ист}} = 12,2 + 0,474 = 12,674 \text{ В.}$$

Зная напряжение на электролизере и силу тока, мы можем выбрать источник тока.

В данном случае нам подходит агрегат типа ТВ1-1600/12Т-0 со следующими характеристиками: номинальный постоянный ток – 1600 А, номинальное постоянное напряжение – 12 В, наибольшее постоянное напряжение – 13.2 В, КПД – 83%. Агрегат рассчитан на работу от сети трехфазного переменного тока напряжением 380 В и частотой 50 Гц [11].

3.4.3 Расчет удельного расхода электроэнергии

Расчет удельного расхода электроэнергии рассчитаем по формуле:

$$W_{уд} = \frac{W_{час}}{G_{Au} \cdot \eta} = \frac{U_{эл} \cdot I \cdot \tau}{G_{Au} \cdot \eta}; \quad (74)$$

где η – КПД прибора, $\eta = 83\%$.

$$U_{эл} = 12,2 \text{ В};$$

$$I = 847 \text{ А};$$

$$\tau = 1 \text{ час};$$

$$G_{Au} = 114,13 \text{ г/ч.}$$

$$W_{уд} = \frac{12,2 \cdot 847 \cdot 1}{114,13 \cdot 0,83 \cdot 10^{-3}} = 108772,63 \text{ Вт} \cdot \text{ч/кг} = 109 \text{ кВт/ч.}$$

3.5 Тепловой расчет электролизера

Целью теплового расчета является определение начальной температуры входящего католита.

Тепловой баланс аппарата для электролитического получения золота характеризуется следующим выражением:

$$Q_{прих} = Q_{расх}; \quad (75)$$

где $Q_{прих}$ – приход тепла в аппарат, Дж;

$Q_{расх}$ – расход тепла из аппарата, Дж.

Таблица 3 - Схема теплового баланса

Приход	Расход
Джоулево тепло (от прохождения электрического тока).	Физическое тепло выделившегося водорода;
Физическое тепло исходного (входящего) католита.	Физическое тепло выделившегося кислорода;
Физическое тепло входящего анолита.	Тепло на испарение;
	Физическое тепло отработанного (выходящего) католита.
	Физическое тепло выходящего анолита.
	Потери тепла в окружающую среду.

3.5.1 Приход тепла

Найдем Джоулево тепло по формуле:

$$Q_{Дж} = U_{гр} \cdot I \cdot \tau; \quad (76)$$

где $U_{гр}$ – греющее напряжение, В;

I – сила тока, $I = 847$ А (см. стр.);

τ – время, $\tau = 3600$ с.

$$U_{гр} = U_{ван} - E_{разл}^I \cdot B_T^I - E_{разл}^{II} \cdot B_T^{II} - \Delta U_{конт}; \quad (77)$$

где $U_{ван}$ – напряжение на электролизере, $U_{ван} = 12,2$ В;

$E_{разл}^I$ – напряжение разложения электролита, $E_{разл}^I = 1,361$ В;

B_T^I – выход по току золота, $B_T^I = 5,50$ %;

$E_{разл}^{II}$ – тепловое напряжение разложения воды, $E_{разл}^{II} = 0,399$ В;

B_T^{II} – выход по току водорода, $B_T^{II} = 90$ %;

$\Delta U_{конт}$ – падение напряжения в контактах, $\Delta U_{конт} = 0,5$ В.

$$U_{гр} = 12,2 - 1,361 \cdot 0,055 - 0,399 \cdot 0,9 - 0,5 = 11,27 \text{ В.}$$

Т.о.,

$$Q_{\text{Дж}} = 11,27 \cdot 847 \cdot 3600 = 34364484 \text{ Дж.}$$

Найдем тепло, приносимое католитом:

$$Q_{\text{физ}}^{\text{католит}} = C_p \cdot m_{\text{кат}} \cdot T_{\text{вх}}; \quad (78)$$

где C_p – удельная теплоемкость католита, Дж/кг · К;

$m_{\text{кат}}$ – начальная масса католита, $m_{\text{кат}} = 935$ кг ;

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

Т.к. концентрация католита очень мала, то для расчетов возьмем теплоемкость воды, равную 4200 Дж/кг · К [10].

$$Q_{\text{физ}}^{\text{католит}} = 4200 \cdot 935 \cdot 298 = 1171562977,8.$$

Теперь найдем тепло, пришедшее с объемом анолита:

$$Q_{\text{физ}}^{\text{анолит}} = C_p \cdot m_{\text{ан}} \cdot T_{\text{вх}}; \quad (79)$$

где C_p – удельная теплоемкость анолита, $C_p = 3,23$ кДж/кг · К [10];

$m_{\text{ан}}$ – начальная масса анолита, $m_{\text{ан}} = 12,65$ кг ;

$T_{\text{вх}}$ – температура входящего анолита, $T_{\text{вх}} = 298$ К.

$$Q_{\text{физ}}^{\text{анолит}} = 3230 \cdot 12,65 \cdot 298 = 12176131 \text{ Дж.}$$

При $C_p = 3,23$.

3.5.2 Расход тепла

Найдем тепло, уносимое с выделившимся водородом:

$$Q_{\text{физ}}^{H_2} = \frac{m_{H_2}}{M_{H_2}} \cdot C_p \cdot T_{\text{отр}}; \quad (80)$$

где m_{H_2} – масса выделившегося водорода, $m_{H_2} = 0,0312$ кг ;

M_{H_2} – молярная масса водорода, $M_{H_2} = 2$ г/моль;

C_p – удельная теплоемкость водорода, $C_p = 29,2$ Дж/моль · К [10];

$T_{\text{отр}}$ – температура отработанного католита, $T_{\text{отр}} = 298$ К.

$$Q_{\text{физ}}^{H_2} = \frac{0,0312}{2 \cdot 10^{-3}} \cdot 29,2 \cdot 298 = 135744,96 \text{ Дж.}$$

Теперь найдем тепло, уносимое с выделившимся кислородом:

$$Q_{\text{физ}}^{O_2} = \frac{m_{O_2}}{M_{O_2}} \cdot C_p \cdot T_{\text{отр}}; \quad (81)$$

где m_{O_2} – масса выделившегося кислорода, $m_{O_2} = 1,011$ кг ;

M_{O_2} – молярная масса кислорода, $M_{O_2} = 32$ г/моль;

C_p – удельная теплоемкость кислорода, $C_p = 29,15$ Дж/моль · К [10].

$$Q_{\text{физ}}^{O_2} = \frac{1,011}{32 \cdot 10^{-3}} \cdot 29,15 \cdot 298 = 274445,43 \text{ Дж.}$$

Расход тепла с испарившейся водой, найдем по формуле:

$$Q_{\text{исп}} = r \cdot m_{H_2O}; \quad (82)$$

где r – удельная теплота испарения воды, $r = 2300000$ Дж/кг [10];

m_{H_2O} – масса испарившейся воды, $m_{H_2O} = 0,569$ кг.

$$Q_{\text{исп}} = 0,569 \cdot 2300000 = 1308700 \text{ Дж.}$$

Найдем тепло, уносимое с отработанным катодитом:

$$Q_{\text{физ}}^{\text{кат}} = C_p \cdot m_{\text{кат}} \cdot T_{\text{отр}}; \quad (83)$$

где $m_{\text{кат}}$ – масса отработанного катодита, $m_{\text{кат}} = 932,73$ кг.

$$Q_{\text{физ}}^{\text{кат}} = 4200 \cdot 932,73 \cdot 298 = 1167404868 \text{ Дж.}$$

Теперь найдем тепло, уносимое анолитом:

$$Q_{\text{физ}}^{\text{ан}} = C_p \cdot m_{\text{ан}} \cdot T_{\text{отр}}; \quad (84)$$

где $m_{\text{ан}}$ – масса отработанного анолита, $m_{\text{ан}} = 12,08$ кг;

$T_{\text{отр}}$ – температура отработанного анолита, $T_{\text{отр}} = 298$ К.

$$Q_{\text{физ}}^{\text{ан}} = 4060 \cdot 12,08 \cdot 298 = 14615350,4 \text{ Дж.}$$

Потери тепла за счет теплоотдачи со стенок и днища электролизера в окружающую среду принимаем 15 % от $Q_{\text{Дж}}$:

$$Q_{\text{т.п.}} = 0,15 \cdot Q \text{ Дж}; \quad (85)$$

$$Q_{\text{т.п.}} = 0,15 \cdot 34364484 = 5154672,6 \text{ Дж.}$$

Таблица 4 - Тепловой баланс для электролизера за один час

Приход	Дж	Расход	Дж
1. $Q_{Дж}$	5154672,60	1. $Q_{физ.}^{H_2}$	135744,96
2. $Q_{физ.}^{католит}$	1171562977,8	2. $Q_{физ.}^{O_2}$	274445,43
3. $Q_{физ.}^{анолит}$	12176131	3. $Q_{исп}$	1308700
		4. $Q_{физ.}^{кат}$	1167404868
		5. $Q_{физ.}^{ан}$	14615350,40
		6. $Q_{тп.}$	5154672,60
Итого:	1188893781,40	Итого:	1188893781,40

Конструкция электролизера не предусматривает наличия змеевиков, поэтому у нас нет возможности отводить Джоулево тепло, тогда отвод Джоулевого тепла будет происходить вследствие подачи исходного католита с более низкой температурой, чем температура, с которой идет процесс. Входящий католит будет подогревается за счет выделяющегося тепла.

3.6 Материальные балансы узлов цеха

3.6.1 Материальный баланс узла выщелачивания

$\rho_{кат} = 1100 \text{ г/л} = 1,1 \text{ кг/л}$ – плотность католита,

$v_{кат} = 0,85 \text{ м}^3/\text{ч} = 850 \text{ л/ч}$ – скорость подачи католита.

Рассчитаем общий расход католита:

$$G_{кат} = \rho_{кат} \cdot v_{кат} = 1,1 \cdot 850 = 935 \text{ кг/ч}; \quad (86)$$

$\rho_{NaClO} = 1574 \text{ г/л} = 1,574 \text{ кг/л}$ – плотность NaClO,

$v_{кат} = 0,29 \text{ м}^3/\text{ч} = 290 \text{ л/ч}$ – скорость подачи NaClO.

Рассчитаем общий приход NaClO:

$$G_{NaClO} = \rho_{NaClO} \cdot v_{NaClO} = 1,574 \cdot 290 = 459,33 \text{ кг/ч}; \quad (87)$$

Выщелачиванию подвергается концентрат с содержанием золота 300 г/т.

Балас узла агитатор – фильтр достигается за счет циркуляции золотосодержащего концентрата на стадию выщелачивания (~ 10 %).

Таблица 5 - Материальный баланс.

Приход	кг/ч	Расход	кг/ч
1. NaClO	459,33	1. Католит(NaAuCl ₄)	935
2. Золотосодержащий концентрат	475,67		
Итого	935		935

3.6.2 Материальный баланс узла растворения NaOH

$\rho_{ан} = 1150 \text{ г/л} = 1,15 \text{ кг/л}$ – плотность анолита,

$v_{ан} = 0,85 \text{ м}^3/\text{ч} = 850 \text{ л/ч}$ – скорость подачи анолита.

Рассчитаем общий расход анолита:

$$G_{ан} = \rho_{ан} \cdot v_{ан} = 1,15 \cdot 850 = 977 \text{ кг/ч}; \quad (88)$$

$\rho_{H_2O} = 998,2 \text{ г/л} = 0,9982 \text{ кг/л}$ – плотность воды,

$v_{H_2O} = 0,865 \text{ м}^3/\text{ч} = 865 \text{ л/ч}$ – скорость подачи анолита.

Рассчитаем общий приход воды:

$$G_{H_2O} = \rho_{H_2O} \cdot v_{H_2O} = 0,9982 \cdot 865 = 863,44. \quad (89)$$

Для приготовления анолита требуется 15% NaOH.

Таблица 6 - Материальный баланс.

Приход	кг/ч	Расход	кг/ч
1. H ₂ O	863,44	1. Анолит (р-р NaOH)	977
2. NaOH	113,56		
Итого	977		977

3.6.3 Материальный баланс узла фильтрации катодного порошка

Рассчитаем приход католита с катодным осадком:

$$G_{\text{кат}} = \rho_{\text{кат}} \cdot v_{\text{кат}} = 1,1 \cdot 850 = 935 \text{ кг/ч.} \quad (90)$$

В процессе фильтрации 80% жидкости переходит в фильтрат, следовательно расход фильтрата составляет 748 кг/ч.

Остальная часть раствора с катодным осадком (20%) уходит на сушку. Расход раствора с катодным осадком составляет 187 кг/ч.

Таблица 7 - Материальный баланс.

Приход	кг/ч	Расход	кг/ч
1. Католит с катодным осадком	935	1. Фильтрат	748
		2. Остаточная жидкость с катодным осадком	187
Итого	935		935

3.6.4 Материальный баланс узла сушки катодного осадка

Из расчета материального баланса узла фильтрации катодного осадка на входе в печь имеем 187 кг/ч раствора с катодным осадком.

Сушка идет при температуре 300 °С. На выходе получаем 0,495 кг/ч золотого порошка и 186,505 кг/ч паров, которые отправляются на конденсацию.

Таблица 8 - Материальный баланс.

Приход	кг/ч	Расход	кг/ч
1. Раствор с катодным осадком	187	1. Золотой порошок	0,495
		2. Пары воды	186,505
Итого	187		187

3.7 Тепловые балансы узлов цеха

3.7.1 Тепловой баланс агитатора для приготовления анолита

Основная формула для расчета теплового баланса:

$$Q = G \cdot c \cdot T_n; \quad (91)$$

где G – масса продуктов,

c – средняя теплоемкость,

T_n – начальная температура (К).

Рассчитаем приход тепла, приносимый NaOH:

$$Q_{\text{пр1}} = 131,46 \cdot 9,70 \cdot 291 = 371\,072 \text{ Дж} = 371,072 \text{ кДж.}$$

Рассчитаем приход тепла, приносимый водой:

$$Q_{\text{пр2}} = 864,44 \cdot 4,187 \cdot 291 = 1\,053\,248 \text{ Дж} = 1\,053,248 \text{ кДж.}$$

Рассчитаем расход тепла, уносимый анолитом:

$$Q_{\text{расх}} = 995,9 \cdot 4,051 \cdot 353 = 1\,424\,320 \text{ Дж} = 1\,424,32 \text{ кДж.}$$

Таблица 9 - Тепловой баланс.

Приход	кДж	Расход	кДж
1. $Q_{\text{пр1}}$	371,072	1. $Q_{\text{расх}}$	1424,32
2. $Q_{\text{пр2}}$	1053,248		
Итого	1424,32		1424,32

Из расчета теплового баланса агитатора для приготовления анолита видно, что для растворени 131,46 кг/час едкого натра (NaOH) необходимо сообщить 1424,32 кДж тепла или 0,3956 кВт·ч электроэнергии с учетом тепловых потерь в окружающую среду.

3.7.2 Тепловой баланс печи

Рассчитаем приход тепла, приносимый раствором с золотым порошком:

$$Q_{\text{пр}} = 190,6 \cdot 3,43 \cdot 333 = 217\,897 \text{ Дж} = 217,897 \text{ кДж.}$$

Рассчитаем расход тепла, уносимый золотым порошком:

$$Q_{\text{расх1}} = 0,495 \cdot 0,129 \cdot 573 = 37 \text{ Дж} = 0,037 \text{ кДж.}$$

Рассчитаем расход тепла, уносимый парами:

$$Q_{\text{расх2}} = 190,105 \cdot 2 \cdot 573 = 217\,860 \text{ Дж} = 217,860 \text{ кДж.}$$

Таблица 10 - Тепловой баланс.

Приход	кДж	Расход	кДж
1. $Q_{\text{пр}}$	217,897	1. $Q_{\text{расх1}}$	0,037
		2. $Q_{\text{расх2}}$	217,860
Итого	217,897		217,860

Из расчета теплового баланса печи для сушки катодного порошка видно, что для сушки 190,6 кг/час раствора, содержащего катодный порошок необходимо сообщить 217,897 кДж тепла или 0,0605 кВт·ч электроэнергии с учетом тепловых потерь в окружающую среду.

3.8 Аппаратурный расчет

3.8.1 Описание конструкции и расчет единичного катода

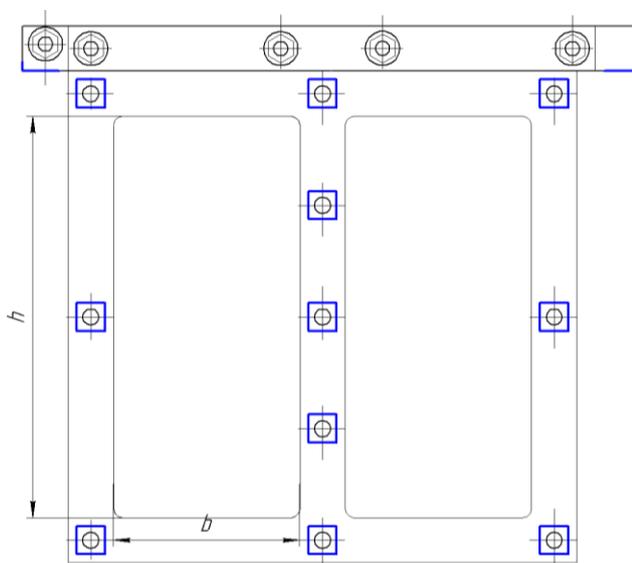


Рисунок 6 - Эскиз пластинчатого катодного блока.

Рассмотрим конструкцию катода.

Катод состоит из войлочно-графитового материала. Эскиз катодного блока показан на рис.1. Развитие поверхности достигается благодаря использованию большой площади катода, расположенной параллельно аноду. Поверхность катода прижата прижимной пластиной из винипласта, таким образом, чтоб войлок не изменял своего положения при электролизе. Сбоку и снизу войлок катода выглядывает из-за прижимной планки для протока раствора. Прижимные планки крепятся при помощи стяжных болтов из винипласта. Катодный блок держится на электролизере при помощи штанги, которую устанавливают в углубления на боковой стенке электролизера.

Рассчитаем рабочую поверхность электродов по формуле:

$$S = \frac{I}{i_k}; \quad (92)$$

где S – общая площадь катодов, дм^2 ;

I – сила тока, А;

i – плотность тока, А/дм².

Пусть при исходной плотности тока $i = 1,80$ А/ дм² $S_k = 100$ дм², тогда

$$I = 1,8 \cdot 100 = 180 \text{ А.} \quad (93)$$

Отсюда,

$$q_{Au} = \frac{M}{F \cdot n}; \quad (94)$$

$$q_{Au} = \frac{197}{26,8 \cdot 3} = 2,45 \text{ г/А} \cdot \text{ч.}$$

где M – молярная масса золота, $M = 197$ г/моль;

F – постоянная Фарадея, $F = 96500$ Кл;

n – число электронов, участвующих в полуреакции.

Найдем m_{Au} , которую необходимо осаждать на катоде за час.

$$m_{Au} = \frac{1000}{365 \cdot 24} = 0,114 \text{ кг/ч} = 114 \text{ г/ч.} \quad (95)$$

Найдем ток, необходимый для электролиза:

$$I = \frac{m_{Au}}{\tau \cdot \eta_{Au} \cdot q_{Au}}; \quad (96)$$

$$I = \frac{114}{2,45 \cdot 1 \cdot 0,0550} = 846,011 \text{ А} \approx 847 \text{ А.}$$

где m_{Au} – масса золота, выделившегося на катоде, г;

q_{Au} – электрохимический коэффициент золота;

τ – время.

Найдем общую площадь катодов:

$$S = \frac{847}{1,8} = 474 \text{ дм}^2. \quad (97)$$

Каждый катод из войлочно-графитового материала имеет две рабочие поверхности, на которых осаждается золото, тогда общее число катодов примем равным 5, число рабочих катодных поверхностей будет равно 8, соответственно, т.к. на крайних катодах задействована по одной рабочей поверхности. Тогда количество анодов равно 4.

Отсюда рассчитаем площадь каждого катода:

$$S_k = 474 / 8 = 59,25 \text{ дм}^2 \approx 60 \text{ дм}^2.$$

т.о высота $H = 8,5$ дм, ширина $N = 7$ дм, длина $L = 0,32$ дм.

Расчитаем вес катодной сборки:

$$G = S \cdot L \cdot \rho \cdot 5 = 6000 \cdot 3,2 \cdot 2,1 \cdot 10^{-3} \cdot 5 = 200 \text{ кг.} \quad (98)$$

Площадь каждого анода $S_a = 63 \text{ дм}^2$, т.о. высота $H = 9$ дм, ширина $N = 7$ дм, длина $L = 0,48$ дм.

Расчитаем вес анодной сборки:

$$G = S \cdot L \cdot \rho \cdot 4 = 6300 \cdot 4,8 \cdot 2,1 \cdot 10^{-3} \cdot 4 = 254 \text{ кг.} \quad (99)$$

Внешние размеры электролизёра приведены в таблице 11.

Таблица 11 - Внешние размеры электролизёра.

Высота электролизёра, мм	$H_{\text{эл-ра}}^{\text{внеш.}}$	760
Длина электролизёра, мм	$L_{\text{эл-ра}}^{\text{внеш.}}$	1448
Ширина электролизёра, мм	$N_{\text{эл-ра}}^{\text{внеш.}}$	720

Высота крышки электролизёра $H_{\text{эл-ра}}^{\text{крышки}} = 100$ мм.

Расстояние от стенок электролизёра до катодной сборки $a_1 = 40$ мм.

Расстояние между анодом и катодом $a_2 = 60$ мм.

Внутренние размеры электролизёра для извлечения золота, при объёме загружаемого католита 1000 л, приведены в таблице 12.

Таблица 6 - Внутренние размеры электролизёра.

Высота электролизёра, мм	$H_{\text{эл-ра}}$	720
Длина электролизёра, мм	$L_{\text{эл-ра}}$	1408
Ширина электролизёра, мм	$N_{\text{эл-ра}}$	680

Внутренний объём электролизёра:

$$V_{\text{эл-ра}}^{\text{вн.}} = H_{\text{эл-ра}} \cdot L_{\text{эл-ра}} \cdot N_{\text{эл-ра}}; \quad (100)$$

$$V_{\text{эл-ра}}^{\text{вн.}} = 720 \cdot 1408 \cdot 680 = 689356800 \text{ мм}^3 = 689,3 \text{ л.}$$

Внешний объём электролизёра:

$$V_{\text{эл-ра}}^{\text{внеш.}} = H_{\text{эл-ра}} \cdot L_{\text{эл-ра}} \cdot N_{\text{эл-ра}}; \quad (101)$$

$$V_{\text{эл-ра}}^{\text{внеш.}} = 760 \cdot 1448 \cdot 7200 = 792345600 \text{ мм}^3 = 792,3 \text{ л.}$$

Объём стенок:

$$\begin{aligned} V^{\text{ст.}} &= V_{\text{эл-ра}}^{\text{внеш.}} - V_{\text{эл-ра}}^{\text{вн.}} = 792345600 - 689356800 = \\ &= 102988800 \text{ мм}^3 = 0,103 \text{ м}^3 = 103 \text{ л.} \end{aligned} \quad (102)$$

Вес пустого электролизера:

$$G = 0,103 \cdot 1450 = 149,35 \text{ кг.} \quad (103)$$

Размеры рабочей катодной поверхности приведены в таблице 13.

Таблица 13 - Размеры рабочей катодной поверхности:

Ширина рабочей поверхности катода, мм	$n_{\text{к}}$	319
Высота рабочей поверхности катода, мм	$h_{\text{к}}$	678
Толщина рабочей поверхности катода, мм	$d_{\text{к}}$	2

Количество рабочих катодных поверхностей: $n = 8$.

Размеры катодной сборки приведены в таблице 14.

Таблица 14 - Размеры катодной сборки

Ширина катодной сборки, мм	$N_{\text{к.с.}}$	400
Высота катодной сборки, мм	$H_{\text{к.с.}}$	1030
Толщина катодной сборки, мм	$D_{\text{к.с.}}$	7

Рамки, фиксирующие катод, изготовлены из винипласта толщиной 3 мм.

Размеры рабочей поверхности анода приведены в таблице 15.

Таблица 15 - Размеры рабочей поверхности анода.

Ширина рабочей поверхности анода, мм	n_a	495
Высота рабочей поверхности анода, мм	h_a	635
Толщина рабочей поверхности анода, мм	d_a	16

Размеры анодной коробки и анодной сборки приведены в таблице 16.

Таблица 16 - Размеры анодной коробки и анодной сборки.

Ширина анодной сборки, мм	$N_{a.c.}$	520
Высота анодной сборки, мм	$H_{a.c.}$	800
Толщина анодной сборки, мм	$D_{a.c.}$	150

Стенки анодной коробки служат ионообменными мембранами.

Высота мембраны: $H_{\text{мембр.}} = 700$ мм.

Ширина мембраны: $N_{\text{мембр.}} = 620$ мм.

Площадь ионообменной мембраны:

$$S_{\text{мембр.}} = H_{\text{мембр.}} \cdot N_{\text{мембр.}}; \quad (104)$$

$$S_{\text{мембр.}} = 700 \cdot 620 = 434000 \text{ мм}^2 = 0,434 \text{ м}^2.$$

Боковые пластины анодной коробки изготовлены из винипласта толщиной 10 мм. Дно анодной коробки и торцевые пластины представляют собой цельную деталь, изготовленную из винипласта толщиной 40 мм.

Высота электролита в электролизёре: $H_{\text{эл-та}} = 705$ мм.

Объём занимаемый катодной сборкой до уровня заполнения электролитом:

$$V_{\text{к.с.}}^1 = H_{\text{эл-та}} \cdot D_{\text{к.с.}} \cdot N_{\text{к.с.}} = 705 \cdot 7 \cdot 400 = 1974000 \text{ мм}^3 = 1,974 \text{ л.} \quad (105)$$

Объём, занимаемый анодной сборкой до уровня заполнения электролитом:

$$V_{\text{а.с.}}^1 = N_{\text{эл-та}} \cdot D_{\text{а.с.}} \cdot N_{\text{а.с.}} = 705 \cdot 150 \cdot 520 = 54990000 \text{ мм}^3 = 55 \text{ л.} \quad (106)$$

Стенки и крышка электролизёра выполнены из винипласта толщиной 15 мм.

3.8.2 Расчет патрубков электролизера ввода и вывода католита и анолита

Определим объёмы электродных пространств до уровня заполнения католитом:

$$V_{\text{электролита}} = V_{\text{эл-ра}}^{\text{вн.1}} - 2 \cdot V_{\text{а.с.}}^1 - V_{\text{к.с.}}^1; \quad (107)$$

где $V_{\text{к.пр.}}$ – объём катодного пространства, занимаемый католитом;

$V_{\text{эл-ра}}^{\text{вн.1}}$ – объём электролизёра до уровня заполнения католитом;

$V_{\text{а.с.}}^1$ – объём, занимаемый анодной сборкой до уровня заполнения электролитом, $V_{\text{а.с.}}^1 = 55 \text{ л}$;

$V_{\text{к.с.}}^1$ – объём занимаемый катодной сборкой до уровня заполнения электролитом, $V_{\text{к.с.}}^1 = 1,974 \text{ л}$.

$$V_{\text{электролита}} = 689,3 - 2 \cdot 55 - 1,974 = 577,3 \text{ л.}$$

Вес электролита:

$$G = V_{\text{электролита}} \cdot \rho = 577,3 \cdot 1125 = 649462,5 \text{ г} = 649,5 \text{ кг.} \quad (108)$$

3.8.3 Объем электродного пространства для протока товарного регенерата

Внутренний объем электролизера: $V_{\text{внут}} = 689,3 \text{ л}$.

Расход католита в час:

$$V = \frac{114 \text{ г/час}}{0,08242 \text{ г/л}} = 1384 \text{ л/час} = 1,384 \text{ м}^3/\text{час}; \quad (109)$$

Рассчитаем расход католита за $\tau_{\text{электролиза}} = 40$ мин:

$$V = \frac{1,384 \frac{\text{м}^3}{\text{час}} / 60 \text{мин}}{40 \text{мин}} = 0,53267 \text{ м}^3/\text{час}, \quad (110)$$

т.е. заданный объем католита 1000 л. = 1 м³ удовлетворяет условиям.

Площадь сечения патрубка и выбор диаметра:

Примем, что для капельных жидкостей скорость 1-3 м/с, тогда расход при 1 м/с равен:

$$V = \frac{1384 \text{ л/час}}{3600 \text{ с}} = 0,384 \text{ л/с} = 0,000384 \text{ м}^3/\text{с}; \quad (111)$$

Откуда:

$$S = \frac{0,000384}{1} = 0,000384 \text{ м}^2;$$

то d:

$$d_{\text{патрубка}} = \sqrt{\frac{S}{4\pi}} = \sqrt{\frac{0,000384}{4\pi}} = 0,0055279 = 0,0055 \text{ м} = 5,5 \text{ мм}, \quad (112)$$

принимаем $d_{\text{патрубка}} = 20$ мм

Выбранный патрубок диаметром 20 мм удовлетворяет требованиям циркуляции 850 л/ч.

Примем циркуляцию анолита $v_{\text{ан}} = 11,0 \text{ л/ч} = 0,0110 \text{ м}^3/\text{ч}$, выбранный патрубок диаметром 10 мм будет обеспечивать циркуляцию анолита, а также удовлетворять требованиям циркуляции.

3.9 Механический расчет

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

Относительно нашего главного аппарата – электролизера, такими деталями являются корпус ванны, испытывающий постоянное гидростатическое давление и катодная штанга, находящаяся под переменным изгибающим моментом в течении всего электролиза.

В данной работе приведен механический расчет катодной штанги на изгиб.

3.9.1 Расчет катодной штанги на изгиб

Для того чтобы рассчитать катодную штангу на изгиб, необходимо знать вес катода $m_k = 40$ кг

На катодах осаждается 0,114 кг золота в час, т.о. в сутки это составит:

$$m_{Au}^{сум} = 0,114 \cdot 24 = 2,74 \text{ кг.} \quad (113)$$

До момента съема золота с катодов проходит 15 суток, т.о. найдем массу золота на момент съема:

$$m_{Au}^{съем} = 2,74 \cdot 15 = 41,1 \text{ кг.} \quad (114)$$

Но учитывая то, что некоторое количество золота за время осаждения осыпается в электролизер, найдем массу золота, оставшуюся на катодах (примем 80%):

$$m_{Au}^{общ} = 41,1 \cdot 0,8 = 32,88 \text{ кг.} \quad (115)$$

Т.к. в электролизере 5 катодов, найдем массу золота на одном катоде:

$$m_{Au} = 32,88 / 5 = 6,576 \text{ кг.} \quad (116)$$

Вес катода с золотом на момент съема составит:

$$P_k = 40 + 32,88 = 72,88 \text{ кг} = 73 \text{ кг.} \quad (117)$$

Найдем силу, действующую на штангу:

$$F_{1,2} = \frac{P_k \cdot g}{2}; \quad (118)$$

где g – ускорение свободного падения, $g = 9,81 \text{ м/с}^2$.

$$F_{1,2} = \frac{84 \cdot 9,81}{2} = 358,06 \text{ кг} \cdot \text{м/с}^2 = 358 \text{ Н.}$$

Т.к. при условии равновесия сумма всех сил равна нулю, получим:

$$F_1 + F_2 - R_A - R_B = 0. \quad (119)$$

Отсюда, учитывая, что $F_1 = F_2$, можно сделать вывод:

$$F_1 = F_2 = R_A = R_B. \quad (120)$$

Рассмотрим эпюры поперечных сил и изгибающих моментов:

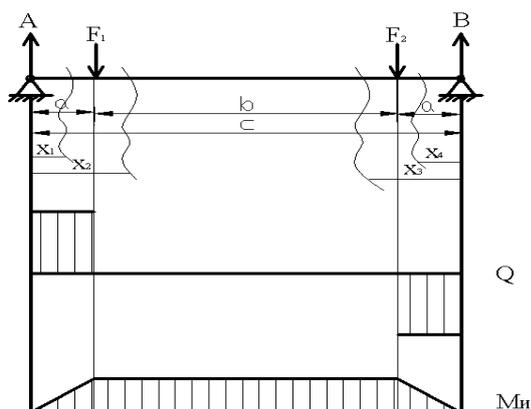


Рисунок 7 - Эпюры поперечных сил и изгибающих моментов

Возьмем сечения на расстояниях x_1, x_2, x_3, x_4 от концов штанги.

Рассмотрим сечение x_1 на отрезке a от левого конца штанги. При этом изгибающий момент будет равен произведению силы реакции опоры на расстояние x_1 , а поперечная сила будет равна силе реакции опоры. a – расстояние от борта ванны до бокового держателя, $a = 0,03$ м (выбрано конструктивно).

Т.о.:

$$M_x = R_A \cdot x_1. \quad (121)$$

$$Q = R_A = 358 \text{ Н}. \quad (122)$$

При $x_1 = 0, M_x = 0$;

При $x_1 = a$:

$$M_x = R_A \cdot a = 358 \cdot 0,03 = 10,74 \text{ Н} \cdot \text{м}. \quad (123)$$

Теперь рассмотрим сечение x_2 на расстоянии от a до $a + b$ от левого конца штанги, где b – ширина катодного блока, $b = 0,75$ м.

Т.о., изгибающий момент будет равен:

$$M_x = R_A \cdot x_2 - F_1(x_2 - a). \quad (124)$$

а поперечная сила будет равна:

$$Q = R_A - F_1 = 0. \quad (125)$$

При $x_2 = a$:

$$M_x = R_A \cdot a - F_1(a - a) = R_A \cdot a = 358 \cdot 0,03 = 10,74 \text{ Н}\cdot\text{м}. \quad (126)$$

При $x_2 = a + b$:

$$M_x = R_A \cdot (a + b) - F_1(a + b - a) = 358 \cdot 0,78 - 358 \cdot 0,75 = 10,74 \text{ Н}\cdot\text{м}. \quad (127)$$

Рассмотрим сечение x_3 на расстоянии от a до $a + b$ от правого конца штанги.

Т.о., изгибающий момент будет равен:

$$M_x = R_B \cdot x_3 - F_2(x_3 - a). \quad (128)$$

а поперечная сила будет равна:

$$Q = R_B - F_2 = 0. \quad (129)$$

При $x_3 = a$:

$$M_x = R_B \cdot a - F_2(a - a) = R_B \cdot a = 358 \cdot 0,03 = 10,74 \text{ Н}\cdot\text{м} \quad (130)$$

При $x_3 = a + b$:

$$M_x = R_B \cdot (a + b) - F_2(a + b - a) = 358 \cdot 0,78 - 358 \cdot 0,75 = 10,74 \text{ Н}\cdot\text{м}. \quad (131)$$

Теперь рассмотрим сечение x_4 на отрезке a от правого конца штанги. При этом изгибающий момент будет равен произведению силы реакции опоры на расстояние x_4 , а поперечная сила будет равна силе реакции опоры.

Т.о.:

$$M_x = R_B \cdot x_4. \quad (132)$$

$$Q = R_B = 358 \text{ Н}. \quad (133)$$

При $x_4 = 0$ $M_x = 0$.

При $x_4 = a$:

$$M_x = R_B \cdot a = 358 \cdot 0,03 = 10,74 \text{ Н}\cdot\text{м}. \quad (134)$$

Имея полученные данные, можно найти наибольшее действительное напряжение:

$$\sigma_{max} = \frac{12,36}{W} \leq [\sigma]; \quad (135)$$

где W – момент сопротивления, равный сечению штанги, м^2 ;

$[\sigma]$ – допускаемое напряжение на изгиб для сплава титана АТЗ,

$[\sigma] = 3920 \cdot 10^5 \text{ Па}$.

Сечение штанги найдем по формуле:

$$S_{ш} = h_{ш} \cdot l_{ш}; \quad (136)$$

где $h_{ш}$ – высота штанги, 0,05 м;

$l_{ш}$ – толщина штанги, 0,01 м (выбрано конструктивно).

$$S_{ш} = 0,05 \cdot 0,01 = 5 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2.$$

Т.о.:

$$\sigma_{\text{изгиб}} = \frac{12,36}{5 \cdot 10^{-4}} = 0.2472 \cdot 10^5 \text{ Па}.$$

Т.к. $\sigma_{\text{изгиб}} < [\sigma]$, то можно сделать вывод, что титановая штанга выдержит нагрузку.

3.10 Гидравлический расчет

Целью гидравлического расчета является подбор насосов для перекачивания отработанного товарного регенерата (католита) из электролизера на нутч-фильтр и анолита из электролизера в бак приготовления раствора NaOH.

Мощность, потребляемая насосом, рассчитывается по формуле:

$$N = \frac{v \cdot \Delta P}{1000 \cdot \eta}; \quad (137)$$

где v – объемный расход жидкости, м³/сек;

ΔP – давление, сообщаемое насосом перекачиваемому веществу.

$$\Delta P = \Sigma \Delta P_{п}, \text{ Па} \quad (138)$$

η – общий КПД насоса, 0,7.

3.10.1 Расчет мощности, потребляемой насосом для перекачивания отработанного товарного регенерата

Для того чтобы рассчитать мощность, потребляемую насосом для перекачивания отработанного товарного регенерата (католита), сначала необходимо рассчитать давление, расходуемое на создание скоростного потока:

$$\Delta P_{\text{ск}} = \frac{\omega^2 \rho}{2}; \quad (139)$$

где ω – скорость потока отработанного товарного регенерата, 2 м/с [4];

ρ – плотность отработанного товарного регенерата, 1100 кг/м³.

$$\Delta P_{\text{ск}} = \frac{2^2 \cdot 1100}{2} = 2200 \text{ Па.}$$

Теперь рассчитаем потерю давления на преодоление сил трения:

$$\Delta P_{\text{тр}} = \frac{\lambda \cdot L}{d} \cdot \Delta P_{\text{ск}}; \quad (140)$$

где λ – коэффициент трения;

L – длина трубы, $L = 30$ м;

d – диаметр трубы, $d = 0,012$ м. Примем $d = 0,020$ м, по ГОСТ 10704-91

Для того чтобы найти коэффициент трения, рассчитаем критерий Рейнольдса:

$$\text{Re} = \frac{\omega \cdot d \cdot \rho}{\mu}; \quad (141)$$

где ρ – плотность отработанного товарного регенерата, $\rho = 1046,42$ кг/м³;

μ – вязкость отработанного товарного регенерата, Па·с.

Т.к. в литературе данных по вязкости тиомочевинного раствора нет, и наш раствор сильно разбавлен, то примем данные по вязкости воды:

$$\mu = 0,31 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с.}$$

$$\text{Re} = \frac{2 \cdot 0,020 \cdot 1100}{0,31 \cdot 10^{-3}} = 141935,48.$$

Принимаем турбулентный режим, т.к. $\text{Re} > 2300$. Т.о., коэффициент трения в шероховатых трубах определим по формуле:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \cdot \lg \left[\frac{\varepsilon}{3,7} + \left(\frac{6,81}{\text{Re}} \right)^{0,9} \right]; \quad (142)$$

где ε – относительная шероховатость,

$$\varepsilon = l/d_3; \quad (143)$$

l – шероховатость труб, $l = 0,2$ мм, [4]

$$\varepsilon = 0,0002/0,020 = 0,01.$$

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \cdot \lg \left[\frac{0,01}{3,7} + \left(\frac{6,81}{141935,48} \right)^{0,9} \right] = 5,096.$$

$\sqrt{\lambda} = 1/5,096$ следовательно, $\lambda = 0,038$.

Тогда

$$\Delta P_{\text{тр}} = \frac{0,038 \cdot 30}{0,02} \cdot 2200 = 125400 \text{ Па}. \quad (144)$$

Теперь рассчитаем потерю давления на преодоление местного сопротивления (повороты, краны и т.д.):

$$\Delta P_{\text{м.с.}} = \sum \xi \cdot \Delta \frac{\omega^2 \rho}{2} = \sum \xi \cdot \Delta P_{\text{ск}}; \quad (145)$$

где ξ – коэффициент местного сопротивления;

$\xi_1 = 0,2$ – вход в трубу с закругленными краями;

$\xi_2 = 1$ – выход из трубы;

$\xi_3 = 1,1$ – колено в 90° при условном проходе равном 50мм; т.к. на линии их три, то $\xi_3 = 3,3$;

$\xi_4 = 8$ – при полном открытии вентиля, для трубы диаметром 20 мм; т.к. на линии их два, то $\xi_4 = 16$.

$$\sum \xi = 0,2 + 1 + 3,3 + 16 = 20,5. \quad (146)$$

Т.о.,

$$\Delta P_{\text{м.с.}} = 20,5 \cdot 2200 = 45100 \text{ Па.} \quad (147)$$

Давление, расходуемое на подъем отработанного товарного регенерата, рассчитаем по формуле:

$$\Delta P_{\text{под}} = \rho \cdot g \cdot H_{\text{под}}; \quad (148)$$

где $H_{\text{под}}$ – высота трубы, $H_{\text{под}} = 10 \text{ м}$;

g – ускорение свободного падения, $g = 9,81 \text{ м/с}^2$.

$$\Delta P_{\text{под}} = 10 \cdot 1046,42 \cdot 9,81 = 102653,8 \text{ Па.}$$

Найдем общие потери:

$$\Delta P = 2200 + 125400 + 45100 + 102653,8 = 275353,8 \text{ Па.} \quad (149)$$

Найдем мощность, потребляемую насосом, для перекачивания отработанного товарного регенерата:

$$N = \frac{0,000236 \cdot 275353,8}{1000 \cdot 0,7} = 0,093 \text{ кВт.} \quad (150)$$

По заданным производительности и напору следует выбрать центробежный насос марки Х2-30-Р-СД, для которого при оптимальных условиях работы производительность $Q = 4,2 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3/\text{с}$, напор $H = 25 \text{ м}$. Насос снабжен двигателем АОЛ-12-2 номинальной мощностью 1,1 кВт (частота вращения вала $n = 50 \text{ об/с}$).

3.10.2 Расчет мощности, потребляемой насосом для перекачивания анолита

Для того чтобы рассчитать мощность, потребляемую насосом для перекачивания анолита, рассчитаем давление, расходуемое на создание скоростного потока:

$$\Delta P_{\text{ск}} = \frac{\omega^2 \rho}{2}; \quad (151)$$

где ω – скорость потока анолита, м/с;

ρ – плотность анолита, $\rho = 1150 \text{ кг/м}^3$.

Т.к. скорость потока жидкости при движении самотеком может принимать значения от 0,1 м/с до 0,5 м/с [8], то примем скорость потока анолита равную 0,1 м/с.

$$\Delta P_{\text{ск}} = \frac{0,1^2 \cdot 1150}{2} = 5,75 \text{ Па.}$$

Теперь рассчитаем потерю давления на преодоление сил трения:

$$\Delta P_{\text{тр}} = \frac{\lambda \cdot L}{d} \cdot \Delta P_{\text{ск}}; \quad (152)$$

где λ – коэффициент трения;

L – длина трубы, $L = 30 \text{ м}$;

d – диаметр трубы, $d = 0,02 \text{ м}$.

Для того чтобы найти коэффициент трения, рассчитаем критерий Рейнольдса:

$$\text{Re} = \frac{\omega \cdot d \cdot \rho}{\mu}, \quad (153)$$

где ρ – плотность анолита, $\rho = 1150 \text{ кг/м}^3$;

μ – вязкость анолита, $\mu = 0,28 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с}$.

$$\text{Re} = \frac{0,1 \cdot 0,02 \cdot 1150}{0,28 \cdot 10^{-3}} = 8214,29.$$

Принимаем турбулентный режим, т.к. $\text{Re} > 2300$. Т.о., коэффициент трения в шероховатых трубах определим по формуле

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \cdot \lg \left[\frac{\varepsilon}{3,7} + \left(\frac{6,81}{\text{Re}} \right)^{0,9} \right]; \quad (154)$$

где ε – относительная шероховатость, $\varepsilon = 0,01$;

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \cdot \lg \left[\frac{0,01}{3,7} + \left(\frac{6,81}{8214,29} \right)^{0,9} \right] = 3,08,$$

$\sqrt{\lambda} = 1/3,08$, следовательно $\lambda = 0,105$, тогда:

$$\Delta P_{\text{тр}} = \frac{0,105 \cdot 30}{0,02} \cdot 5,75 = 905,525 \text{ Па.} \quad (155)$$

Теперь рассчитаем потерю давления на преодоление местного сопротивления (повороты, краны и т.д.):

$$\Delta P_{\text{м.с.}} = \sum \xi \cdot \Delta P_{\text{ск}}; \quad (156)$$

$$\Delta P_{\text{м.с.}} = 20,5 \cdot 5,75 = 117,875 \text{ Па.}$$

Давление, расходуемое на подъем анолита, рассчитаем по формуле:

$$\Delta P_{\text{под}} = \rho \cdot g \cdot H_{\text{под}}; \quad (157)$$

где $H_{\text{под}}$ – высота трубы, $H_{\text{под}} = 10 \text{ м}$;

g – ускорение свободного падения, $g = 9,81 \text{ м/с}^2$.

$$\Delta P_{\text{п.ан.}} = 10 \cdot 1150 \cdot 9,81 = 112815 \text{ Па.} \quad (158)$$

Найдем общие потери:

$$\Delta P = 5,75 + 905,625 + 117,875 + 112815 = 113844,25 \text{ Па.} \quad (159)$$

Теперь можно найти мощность, потребляемую насосом, для перекачивания анолита. При этом объемный расход анолита (v) равен $1,3 \text{ м}^3/\text{ч} = 3,61 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3/\text{сек}$.

$$N = \frac{0,000361 \cdot 113844,25}{1000 \cdot 0,7} = 0,059 \text{ кВт.} \quad (160)$$

По заданным производительности и напору следует выбрать тот же центробежный насос, что и в случае с отработанным товарным регенератором.

3.11 Расчет габаритов вспомогательного оборудования

3.11.1 Агитаторы для приготовления католита и анолита

Для данных подойдет агитатор состоящий из цилиндрической ёмкость с перемешивающим устройством, представляющий собой лопастную мешалку, закреплённую на валу. Зная объем раствора и зная, что лопастная мешалка занимает 10% от объёма аппарата примем следующие габариты агитатора.

Таблица 17 - Параметры аппарата с мешалкой

Номинальный объём аппарата, м ³	D, мм	H, мм
1,00	1100	2600

Диаметр лопастной мешалки определяется из соотношения:

$$d_m = (0,28 - 0,83) \cdot D = 0,7 \cdot 1100 = 770 \text{ мм.} \quad (161)$$

Высота лопасти мешалки рассчитывается по формуле:

$$b = 0,1 \cdot d_m = 0,1 \cdot 770 = 77 \text{ мм.} \quad (162)$$

Полная высота мешалки составляет:

$$h_m = (0,1 \div 0,3)d_m = 0,2 \cdot 770 = 154 \text{ мм.} \quad (163)$$

3.11.2 Нутч-фильтры

Нутч-фильтр (вакуум-фильтр, емкостной фильтр) используется в различных отраслях промышленности для фильтрования суспензий, пульп.

Характеристики нужного нутч-фильтра предоставлены в таблице 18.

Таблица 18 – Характеристика нутч-фильтра

Площадь поверхности фильтрования, м ²	Приемник суспензии, л	Приемник фильтрата, л	Вес аппарата, кг
0,7	300	400	160

Таблица 19 – Габаритные размеры нутч-фильтра

Диаметр, мм	Высота, мм
1280	1415

3.11.3 Печь для сушки катодного осадка

Из предыдущих расчетов, зная количество катодного осадка, поступающего за один цикл, была выбрана печь типа ШСв 14х9х12,5/3,5 - 6,0/220.

Таблица 20 – Характеристика ШСв 14х9х12,5/3,5 - 6,0/220

Мощность, кВт	Диапазон температур, °С	Время нагрева, мин.	Вес, кг
6,0	30-350	50	200

Таблица 21 – Размеры рабочей камеры

Ширина, мм	Длина, мм	Высота, мм
1400	900	1250

Таблица 22 – Габаритные размеры

Ширина, мм	Длина, мм	Высота, мм
1600	1050	1600

4 Строительная часть

В основу архитектурно-строительных решений положены принципы рационального размещения технологического оборудования с соблюдением поточности технологического процесса, удобства при эксплуатации, унификации конструктивных строительных элементов и их сборность [17].

4.1 План размещения оборудования

Все оборудование участка находится на нулевом уровне. Стены здания - железобетонные стеновые панели [13].

Данное производство относится к категории Е по пожаро-взрывобезопасности, т.е. пожары, связанные с горением электроустановок.

Основными габаритными размерами являются длина, ширина и высота оборудования, расположенного в нем.

Необходимые для компоновки здания габаритные размеры аппаратов, приведены в таблице 21.

Таблица 23 – Габаритные размеры оборудования

Наименование	Количество	Размеры, мм
Электролизер	1	L = 1448, B = 720, H = 760
Агитатор для выщелачивания золотосодержащего концентрата	1	D = 1000, H = 1440
Агитатор для растворения NaOH	1	D = 1000, H = 1440
Печь для сушки катодного осадка	1	L = 1050, B = 1600, H = 1600
Нутч-фильтр	2	D = 1280, H = 1415

Согласно единым правилам безопасности [13] минимальное расстояние между смежными габаритами машин и аппаратов, и от стен до габаритов оборудования должны составлять:

- 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;

Проектируем одноэтажное здание высотой 8400 мм. С учетом производственных помещений, длина проектируемого цеха будет составлять 24000 мм, а ширина - 18000 мм.

Для обслуживания электролизера подводятся лестничные площадки с ограждениями. Лестница установлена под уклоном 45°, ступеньки изготавливают из рифленой стали шириной 250 мм, при толщине 3 мм. Приваривается к балке ограждения.

4.2 Основание

Все здания и сооружения строятся на грунте. Основанием для постройки здания цеха являются такие породы как щебень, галька, гравий. Такой грунт слабо сжимается под нагрузкой, значительно сопротивляется сдвигу, поэтому он является хорошим основанием под здание [14].

4.3 Фундамент

В качестве фундамента выбираем ленточный сборный фундамент. Он состоит из типовых железобетонных блоков, уложенных на раствор и скрепленных армшвом [14]. Глубина закладки фундамента под несущие стены – 2,5 м. На такую же глубину заложен фундамент стаканного типа под железобетонные балки.

4.4 Наружные стены цеха

Наружные стены представляют собой самонесущие стены, которые защищают внутреннее помещение здания от воздействия внешней среды. Они передают на фундамент нагрузку собственного веса, но не несут

нагрузок от покрытия, крана и так далее. Стены монтируются из панелей, которые крепятся к каркасу. Длина панелей 6 м ширина 3 м. Материал панелей – пенобетон [15].

4.5 Колонны

Для построения здания цеха выбрана одноветьевая колонна с шагом 6000 мм. Полная высота колонны составляет 3500 мм, расстояние под фундамент – 650 мм. Колонны изготавливают из бетона марок 300, 400 без предварительного напряжения, поскольку колонны работают в основном на сжатие.

4.6 Покрытия

Покрытие состоит из двух основных частей: несущей и ограждающей.

В качестве настила чаще всего используют крупнопанельные железобетонные плиты, которые опираются непосредственно на несущие конструкции. Утеплитель настилается непосредственно поверх настила. В качестве утеплителя применяется неорганический пенобетон.

Кровля - водоизоляционный слой, который совмещает ограждающие и несущие функции, и служит для защиты здания и покрытия от атмосферных осадков. В качестве настила применяют ребристые крупнопанельные плиты 6 × 3 м. В качестве утеплителя применяют керамзит. Кровля выполняется из рубероида 3 слоев, проклеивается битумной мастикой. Основанием рубероидной кровли служит выравнивающий слой - стяжка из бетона марки М-300.

Все полы промышленных зданий, в силу специфики производства, должны обладать определёнными качествами. Такие требования диктуются тем, что на полы в производственных зданиях действуют большие нагрузки

разного плана – от движения автотранспорта, людей, а также различные ударные нагрузки, химическое и термическое воздействие и др. Поэтому первое требование к полам промышленных зданий – это повышенная износостойчивость и большая прочность.

Следовательно, в цехе используется бетонная стяжка, а в отделении сушки и проковки полы сделаны из чугунных плиток.

В бытовых и вспомогательных помещениях полы линолеумные (в сухих), в мокрых (душевые и др.) - выкладывается керамической плиткой [15].

4.7 Окна, двери и ворота

Освещение естественным светом вспомогательных помещений было осуществлено с помощью отдельных оконных проемов размером 2360×1760 мм под типовые оконные переплеты с двойным остеклением. Размещение и форма окон приняты согласно нормам освещения [15]. Здание освещается искусственными и естественным путями.

Дверь внутренняя принята типовая, состоящая из деревянной коробки и деревянного полотна размером 0,8×2 м. Двери между цехом и другими помещениями 1×2,5 м.

В здании предусмотрено наличие двойных ворот для въезда и выезда автопогрузчика в цех. Ворота имеют размеры 1,5×3 м. Ворота распашные, сделаны из тонкой стали.

Во избежание больших тепловых потерь отапливаемых зданий и появления в них сквозняков ворота оборудованы воздушно-тепловыми навесами [15].

4.8 Водоснабжение

Система водоснабжения промышленного предприятия предназначена для обеспечения его водой для производственных, хозяйственно-питьевых и противопожарных нужд.

Производственный водопровод обеспечивает подачу воды, необходимой для обеспечения улавливания отходящих газов. Качество воды для производственных надобностей определяется соответствующими технологическими требованиями.

Хозяйственно-питьевая вода подается к умывальникам, для уборки помещений. Для обеспечения хозяйственно-бытовых нужд предусмотрен горячий водопровод ($t \geq 60^{\circ}\text{C}$).

Так же предусмотрен пожарный водопровод. К воде, используемой для пожаротушения не предъявляется ни каких требований и, поэтому пожарный водопровод объединяется с хозяйственным [16].

4.9 Канализация

В цехе предусматривается два вида канализаций – бытовая и производственная.

Внутренние сети бытовой канализации (сток из сан. узла, питьевой воды) изготавливают из чугунных труб, сети производственной канализации из керамических труб [15].

Для первичной очистки сточных вод бытовой канализации применяют:

- решетки для задержки крупного мусора;
- песколовки для улавливания песка;
- отстойники.

Затем сточные воды поступают на биологическую очистку.

4.10 Отопление

Для данного здания используются электрические котлы для обогрева. Мощность, затрачиваемая на отопление помещения определяется следующим образом:

$$W_{\text{отоп}} = a \cdot V \quad (164)$$

где a – количество тепла на 1 м^3 помещения, кВт;

V - объем отапливаемого помещения.

$$W_{\text{отоп}} = 0,041 \cdot 3628,8 = 148,78 \text{ кВт.}$$

4.11 Результаты проведенной разработки

В качестве проектируемого аппарата был выбран электролизер с монополярными (без возможности переплюсовки электродов), несплошными электродами с анионообменной мембранной.

В ходе проведенных расчетов были определены тепловые балансы узлов выщелачивания, растворения, фильтрации и сушки, а так же материальный баланс электролиза. Так же были определены габаритные размеры агитаторов, печи и нутч-фильтров, а также электролизера.

5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность ресурсосбережение

Целью экономического расчета является определение себестоимости продукции, обоснование финансово-экономической целесообразности проекта и выявление условий, при достижении которых создание предприятия является экономически оправданным [28].

5.1 Планирование потребности в человеческих ресурсах

В этом разделе определяется потребность в трудовых ресурсах по категории персонала (руководители, специалисты, технические исполнители, рабочие) и выполняемым функциям (технологи, механики, аппаратчики). В соответствии с этим персонал ИТР в данном производстве представляют: начальник цеха, начальник смены, инженер-технолог, выполняющие работы в соответствии с должностными инструкциями; аппаратчики 6 разряда; технические исполнители – работники КИП и А 5 разряда, электрики 5 разряда, слесари 5 разряда, уборщицы и табельщик.

5.2 Обоснование необходимых инвестиций для разработки и внедрения инженерных решений

Расчет капитальных затрат на приобретение и монтаж оборудования представлен в таблице 24.

Таблица 24 – Расчет стоимости оборудования

Наименование	Количество	Цена за ед, тыс.руб.	Цена, тыс. руб.
Насос	2	9	18
Мембранный насос	1	250	250
Электролизер	3	1500	4500
Печь для сушки	1	21	21
Нутч-фильтр	2	100	200
Шнековый питатель	2	30	60
Источник тока	3	260	780
Агитатор	2	400	800
Теплообменник	1	120	120
Итого			6749

Величина капитальных затрат на строительство здания:

$$C_{зд} = C_{помещ} + C_{от} + C_{вен} + C_{вод} + C_{кан} + C_{осв}; \quad (165)$$

где C – стоимость помещения, р.;

$C_{от}$ – стоимость затрат на отопление, р.;

$C_{вен}$ – стоимость затрат на вентиляцию, р.;

$C_{вод}$ – стоимость затрат на водопровод, р.;

$C_{кан}$ – стоимость затрат на канализацию, р.;

$C_{осв}$ – стоимость затрат на освещение, р.;

$C_{\text{помещ}}$ – стоимость помещения, р.;

Стоимость здания с площадью 324 м² равна 10710000 р.

Затраты на санитарно - технические работы показаны в таблице 25.

Таблица 25 – затраты на санитарно - технические работы

Затраты	Процент от затрат на постройку здания	Цена, тыс. р.
На отопление	5	535,5
На вентиляцию	5	535,5
На водопровод	3	321,3
На канализацию	3	321,3
На освещение	2	214,2
Итого:	18	1927,8

$$C_{\text{зд}} = 10710 + 535,5 + 535,5 + 321,3 + 321,3 + 214,2 = \\ = 12637,8 \text{ тыс. руб.}$$

Потребность в основных фондах определяется исходя из стоимости оборудования, транспортных средств и других основных фондов, а также их количества

Дополнительно необходимо учесть затраты на монтаж и установку оборудования:

– на устройство фундаментов ($C_{\text{ф}}$) = $0,1 \cdot 6749 = 674,9$ тыс. р.

– на технологические трубопроводы ($C_{\text{т}}$) = $0,2 \cdot 6749 = 1349,8$ тыс. р.;

– на антикоррозионные работы ($C_{\text{ант.кор.}}$) = $0,05 \cdot 6749 = 337,45$ тыс. р.;

– на кабельные разводки ($C_{\text{к.р.}}$) = $0,05 \cdot 6749 = 337,45$ тыс. р.;

– на КИПиА ($C_{\text{КИПиА}}$) = $0,1 \cdot 6749 = 674,9$ тыс. р.;

- на монтаж оборудования ($C_{\text{монт.}} = 0,22 \cdot 6749 = 1484,78$ тыс. р.;
- на вспомогательное оборудование ($C_{\text{вспом}} = 0,05 \cdot 6749 = 337,45$ тыс. р.;

Расходы на оборотные средства (сырье, материалы, топливо, энергия всех видов и т.д.) связаны с ростом выпуска продукции (таблица 26).

Таблица 26 – Потребность в оборотных средствах

Наименование оборотных средств	Цена за единицу сырья, материалов, энергии, р.	Кол-во оборотных средств на весь годовой выпуск, кг, кВт	Затраты на оборотные средства, р.
1) Сырье			
- NaClO	14	335800	4701200
- NaOH	460	499320	229687200
- Золотосодержащий концентрат	3316	347239	1151444855
2) Энергия	2,6	30600	80000
Итого			1385913255

Для определения численности рабочих необходимо установить годовой фонд времени одного среднесписочного рабочего. В непрерывных производствах с 8-часовым рабочим днем работа осуществляется четырьмя производственными бригадами.

Длительность сменоборота:

$$T_{\text{см.об.}} = n_{\sigma} \cdot T_{\text{м}}; \quad (166)$$

где n_{σ} число бригад;

$T_{\text{н}}$ число дней, в которые бригада ходит в смену.

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

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.

Примерный баланс рабочего времени одного среднесписочного рабочего в днях и часах эффективное время работы персонала определяется из баланса рабочего времени (таблица 27).

Таблица 27 – Баланс эффективного времени одного среднесписочного работника

№ п/п	Элементы времени	Непрерывное производство, 8-часовой рабочий день, 4 бригады	
		дней	часов
1.	Календарный фонд рабочего времени	365	8760
2.	Выходные	91	2184
3.	Номинальный фонд рабочего времени	274	6576
4.	Планируемые невыходы:		
	очередные и дополнительные отпуска;	24	576
	невыходы по болезни;	12	288
	выполнение государственных и общественных обязанностей;	1	24
	отпуск в связи с учёбой без отрыва от производства;	14	336
	Итого (планируемые невыходы):	51	1224
5.	Эффективный фонд рабочего времени	223	5352

Количество выходных дней в году, ночных смен определяется из графика сменности (табл. 28).

Таблица 28 – График сменности

Номер смены	Часы работы	Дни месяца															
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	0-8	A	A	A	A	B	B	B	B	C	C	C	C	D	D	D	D
2	8-16	C	D	D	D	D	A	A	A	A	B	B	B	B	C	C	C
3	16-24	B	B	C	C	C	C	D	D	D	D	A	A	A	A	B	B
Отдых:		D	C	B	B	A	D	C	C	B	A	D	D	C	B	A	A

где А, В, С, D – бригады.

Эффективный фонд рабочего времени составит:

$$T_{\text{эф}} = 223 \cdot 8 = 1784 \text{ часа}; \quad (167)$$

Численность производственных рабочих определяется исходя из прогрессивных норм обслуживания при полном обеспечении рабочими всех мест. Число рабочих мест определяется исходя из необходимых точек наблюдения и операций обслуживания процесса, а также объёма работы на управление каждым участком.

Определим явочное число основных рабочих в сутки:

$$N_{\text{яв}} = \frac{1}{N_{\text{ОБС}}} \cdot n \cdot S \quad (168)$$

где $N_{\text{ОБС}}$ – норма обслуживания, т.е. количество оборудования, которое обслуживает один человек;

n – количество установок;

S – количество смен в сутки.

Учитывая, что работа основных производственных рабочих заключается в наблюдении за ходом процесса, а также учитывая уровень автоматизации оборудования цеха, получаем:

$$N_{\text{яв}} = \frac{1}{2} \cdot 8 \cdot 3 = 12 \text{ чел.}$$

Для определения списочной численности рабочих воспользуемся следующим соотношением:

$$N_{\text{СП}} = N_{\text{ЯВ}} \cdot \frac{T_{\text{ЭФ.ОБ.}}}{T_{\text{ЭФ.РАБ.}}} \quad (169)$$

где $T_{\text{эф.об.}}$ – эффективный фонд времени работы оборудования;

$T_{\text{эфф}}$ – эффективный фонд рабочего времени персонала.

$$N_{\text{СП}} = 12 \cdot \frac{337}{223} = 18 \text{ чел.}$$

С учётом специфики цеха и приборного оформления к вспомогательным рабочим будет отнесён дежурный персонал в составе дежурного слесаря, дежурного электрика и дежурного работника КИПиА. Списочное число рабочих дежурного персонала:

$$K_{\text{пер}} = \frac{T_{\text{раб.об.}}}{T_{\text{раб.дм.}}} = \frac{337}{223} = 1,51 \quad (170)$$

$$N_{\text{ЯВ}} = \frac{1}{4} \cdot 8 \cdot 3 = 6 \text{ чел./сут.} \quad (171)$$

$$N_{\text{СП}} = N_{\text{ЯВ}} \cdot K = 6 \cdot 1,51 = 9 \text{ чел.} \quad (172)$$

Расчет численности специалистов, руководителей и служащих производится в связи с потребностью цеха в каждой группе работников. Обобщим все полученные значения в таблице 29.

Таблица 29 – Численность руководителей, специалистов и служащих

Категория персонала	Норма обслуживания, $N_{\text{обс}}$	Число смен в сутки, S	Явочная численность, $N_{\text{яв}}$	Списочная численность, $N_{\text{сп}}$
Основные рабочие	2	3	12	18
Вспомогательные рабочие	4	3	6	9
ИТР	-	-	1	1
Служащие			1	1
МОП	-	-	1	1
Руководители	-	-	1	1

5.3 Расчет годового фонда заработной платы

5.3.1 Расчет фонда заработной платы основных рабочих

Расчетный фонд заработной платы (ЗП) складывается из основной и дополнительной заработной платы. $Z_{\text{тар}} + D_{\text{прем}} + D_{\text{нв}} + D_{\text{пр}} + D_{\text{вр}}$

Основной фонд (ЗП):

$$Z_{\text{осн.}} = Z_{\text{тар}} + D_{\text{прем}} + D_{\text{нв.}} + D_{\text{пр.}} \quad (173)$$

где $Z_{\text{тар}}$ – тарифный фонд;

$D_{\text{прем}}$ – доплата премий;

$D_{\text{нв}}$ – доплаты за ночные смены;

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

а) Тарифный фонд:

$$Z_{\text{тар}} = N_{\text{сп}} \cdot T_{\text{ст}} \cdot T_{\text{эф}} \quad (174)$$

где $T_{\text{ст}}$ – тарифная ставка соответствующего разряда рабочего;

где $Z_{\text{тар}}^6$ – ЗП по тарифным ставкам рабочих 6 разряда;

$T_{\text{ст}}$ для 6-го разряда – 75 руб./час.

$$Z_{\text{тар}}^6 = 18 \cdot 1784 \cdot 75 = 2408400 \text{ руб.};$$

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

$$D_{\text{нв}} = N_{\text{сп}} \cdot 0,4 \cdot (T_{\text{ст}} \cdot t_{\text{нв}}) \quad (175)$$

где $t_{\text{нв}}$ – время ночной работы (определяется по графику сменности)

$$D_{\text{нв}} = 18 \cdot 0,4 \cdot (75 \cdot 81 \cdot 8) = 349920 \text{ руб.}$$

в) Доплата премий – 30% от тарифной ЗП:

$$D_{\text{прем}} = 0,3 \cdot Z_{\text{тар}} = 0,3 \cdot 2408400 = 722520 \text{ руб.} \quad (176)$$

г) Доплата за работу в праздничные дни.

Принято 12 праздничных дней в году. Доплата в праздничные дни осуществляется по двойным тарифным ставкам:

$$D_{\text{пр}} = T_{\text{пр}} \cdot T_{\text{ст}} \cdot N_{\text{яв}} \quad (177)$$

где $T_{\text{пр}}$ – количество праздников в году;

$$D_{\text{пр}}^6 = 12 \cdot 24 \cdot 150 \cdot 12 = 518400 \text{ руб.};$$

$$Z_{\text{осн.}} = 2408400 + 349920 + 722520 + 518400 = 3999240 \text{ руб.} \quad (178)$$

Рассчитаем дополнительную зарплату.

$$Z_{\text{доп}} = \frac{(D_{\text{н}} \cdot Z_{\text{осн.}})}{T_{\text{эф}}} = 51 \cdot 24 \cdot 3999240 / 1784 = 2743873 \text{ руб.} \quad (179)$$

где $D_{\text{н}}$ – количество дней невыхода на работу по планируемыми причинам (отпуск, ученические, гособязанности).

Годовой фонд заработной платы основных рабочих:

$$Z_{\text{общ}} = 1,3 \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}) = 1,3 \cdot (3999240 + 2743873) = 8766047 \text{ руб.} \quad (180)$$

5.3.2 Расчет фонда заработной платы вспомогательных рабочих

$$Z_{\text{осн.}} = Z_{\text{тар}} + D_{\text{прем}} + D_{\text{нв.}} + D_{\text{пр.}} \quad (181)$$

$$Z_{\text{общ}} = Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}} \quad (182)$$

а) Тарифный фонд:

$$Z_{\text{тар}} = N_{\text{сп}} \cdot T_{\text{ст}} \cdot T_{\text{эф}} \quad (183)$$

где $T_{\text{ст}}$ – тарифная ставка соответствующего разряда рабочего;

$T_{\text{ст}}$ для 5-го разряда – 70 руб./час.

Зарплата по тарифным ставкам рабочих 5 разряда:

$$Z_{\text{тар}}^5 = 9 \cdot 1784 \cdot 70 = 1123920 \text{ руб.}$$

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

$$D_{\text{нв}} = N_{\text{сп}} \cdot 0,4 \cdot T_{\text{ст}} \cdot t_{\text{нв}} \quad (184)$$

где $t_{\text{нв}}$ – время ночной работы (определяется по графику сменности).

$$D_{\text{нв}} = 9 \cdot 0,4 \cdot (70 \cdot 81 \cdot 8) = 163296 \text{ руб.}$$

в) Доплата премий – 30% от тарифной ЗП:

$$D_{\text{прем}} = 0,3 \cdot Z_{\text{тар}} = 0,3 \cdot 1123920 = 337176 \text{ руб.} \quad (185)$$

г) Доплата за работу в праздничные дни.

Принято 12 праздничных дней в году. Доплата в праздничные дни осуществляется по двойным тарифным ставкам:

$$D_{\text{пр}} = T_{\text{пр}} \cdot T_{\text{ст}} \cdot N_{\text{яв}} \quad (186)$$

где $T_{\text{пр}}$ – количество праздников в году.

$$D_{\text{пр}}^6 = 12 \cdot 24 \cdot 140 \cdot 6 = 241920 \text{ руб.}$$

$$Z_{\text{осн}} = 1123920 + 163296 + 337176 + 241920 = 1866312 \text{ руб.} \quad (187)$$

Рассчитаем дополнительную зарплату:

$$Z_{\text{доп}} = \frac{(D_{\text{н}} \cdot Z_{\text{осн}})}{T_{\text{эф}}} = \frac{51 \cdot 24 \cdot 1866312}{1784} = 1280474 \text{ руб.} \quad (188)$$

где $D_{\text{н}}$ – количество дней невыхода на работу по планируемыми причинам (отпуск, ученические, гособязанности).

Годовой фонд заработной платы вспомогательных рабочих:

$$Z_{\text{общ}} = 1,3 \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}) = 1,3 \cdot (1866312 + 1280474) = 4090822 \text{ руб.} \quad (189)$$

5.3.3 Расчет годового фонда заработной платы руководителей, специалистов и служащих

Оклады служащих, руководителей и специалистов устанавливаются в зависимости от категории цеха:

- технолог – 21000 руб.
- начальник цеха – 45000 руб.
- начальник смены – 30000 руб.
- уборщица – 13000 руб.

а) 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.

$$\Phi_{\text{осн}} = 1 \cdot 11 \cdot 21000 + 1 \cdot 11 \cdot 45000 + 1 \cdot 30000 \cdot 11 + 1 \cdot 11,3 \cdot 13000 = 1202900 \text{ руб.} \quad (190)$$

б) Основная ЗП вычисляется по формуле:

$$З_{\text{осн}} = З_{\text{тар}} + Д_{\text{пр}} \quad (191)$$

Найдем основные зарплаты для служащих, руководителей и специалистов:

$$Д_{\text{пр}} = \frac{T_{\text{окл}}}{26,5} \cdot T_{\text{пр}} \cdot N_{\text{яв}} \quad (192)$$

$$Д_{\text{пр}}^{\text{табел}} = \frac{21000}{26,5} \cdot 12 \cdot 1 = 9509 \text{ руб.}$$

$$Д_{\text{пр}}^{\text{табел}} = \frac{45000}{26,5} \cdot 12 \cdot 1 = 20377 \text{ руб.}$$

$$Д_{\text{пр}}^{\text{табел}} = \frac{13000}{26,5} \cdot 12 \cdot 1 = 5887 \text{ руб.}$$

$$Д_{\text{пр}}^{\text{табел}} = \frac{30000}{26,5} \cdot 12 \cdot 1 = 13585 \text{ руб.}$$

где $T_{\text{пр}}$ - количество праздничных дней в году (равное 12).

$$З_{\text{осн}} = 1202900 + 9509 + 20377 + 5887 + 13585 = 1252255 \text{ руб.} \quad (193)$$

в) Дополнительная ЗП:

Принимается в размере 10 – 12% от основной ЗП:

$$З_{\text{доп}} = 1252255 \cdot 0,1 = 125225,5 \text{ руб.} \quad (194)$$

г) Годовой фонд заработной платы:

$$\Phi_{\text{зп}} = 1,3 \cdot (З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}}) = 1,3 \cdot (1252255 + 125225,5) = 1790725 \text{ руб.} \quad (195)$$

Общий фонд заработной платы:

$$\Phi_{\text{общ}} = З_{\text{осн. раб}} + З_{\text{всп. раб}} + З_{\text{ИТР и МОП}} = 8766047 + 4090822 + 1790725 = 14647594 \text{ руб.} \quad (196)$$

Сумма амортизационных отчислений (АО) определяется по формуле:

$$АО = C_{\text{оф}} \cdot N / 100\%; \quad (197)$$

где $C_{\text{оф}}$ – среднегодовая стоимость основных фондов, руб.;

H – норма амортизационных отчислений на полное восстановление основных фондов, % к их балансовой стоимости.

$$AO = C_{\text{оф}} \cdot H / 100\% = (6749000 + 12637800) \cdot 10 / 100 = 1938680 \text{ руб./год.}$$

Ремонтный фонд активной части основных средств составляет 15 % от стоимости оборудования:

$$\Phi_{\text{т.р}} = 6749000 \cdot 0,15 = 1012350 \text{ руб./год.} \quad (198)$$

Расходы на содержание составляют 5 % от стоимости оборудования:

$$Z_{\text{сод}} = 6749000 \cdot 0,05 = 337450 \text{ руб./год.} \quad (199)$$

Расходы на освещение помещения определяются по формуле:

$$Z_{\text{осв}} = (40 \cdot n \cdot M \cdot t / 1000) \cdot Ц, \text{ руб.} \quad (200)$$

где 40 – мощность одной лампы ЛД40 (Вт);

n – количество ламп ЛД40;

M – количество часов искусственного освещения в сутки;

t – число дней работы производства в году.

$Ц$ – стоимость 1 кВт·часа электроэнергии.

$$Z_{\text{осв}} = (40 \cdot 44 \cdot 24 \cdot 365 / 1000) \cdot 2,6 = 54663 \text{ руб.}$$

Затраты на вентиляцию помещения рассчитываются:

$$Z_{\text{вент}} = (0,5 \cdot V \cdot K \cdot T_{\text{кал}} / 1000) \cdot Ц, \text{ руб.;} \quad (201)$$

где $T_{\text{кал}}$ – календарный фонд времени (час);

V – внутренний объем помещения;

K – кратность обмена воздухом;

0,5 – норма расхода электроэнергии.

$$Z_{\text{вент}} = (0,5 \cdot 3628,8 \cdot 3 \cdot 24 \cdot 365 / 1000) \cdot 2,6 = 92994 \text{ руб.}$$

Затраты на отопление помещения определяются следующим образом:

$$Z_{\text{отоп}} = (a \cdot T \cdot V) \cdot Ц, \text{ руб.} \quad (202)$$

где a – количество тепла на 1 м³ помещения, кВт;

В – объем отапливаемого помещения;

Т – продолжительность отапливаемого сезона в Сибири;

Ц – стоимость 1 кВт·час электроэнергии.

$$Z_{\text{отоп}} = (0,041 \cdot 2722 \cdot 236) \cdot 2,6 = 652085 \text{ руб.}$$

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

$$Z_{\text{ОТБТБ}} = 14647594 \cdot 0,05 = 732380 \text{ руб./год.} \quad (203)$$

Отчисления на социальные нужды:

Размер отчислений на социальные нужды составляет 10 % от полного годового фонда заработной платы:

$$Z_{\text{соц}} = 14647594 \cdot 0,1 = 1464760 \text{ руб./год.} \quad (204)$$

Таким образом, все рассчитанные затраты сводятся в таблицу для определения плановой себестоимости продукции в форме калькуляции себестоимости на единицу продукции и на годовой ее выпуск (таблица. 30).

Таблица 30 – Калькуляция себестоимости 1 кг продукции

Наименование статей расхода	Ед. изм.	Затраты, руб.	
		На 1кг	На N _{год}
1	2	3	4
Сырье	кг	1172	1385833255
Энергия на технологические цели	кВт	8	8000
Заработная плата основных рабочих	руб.	877	8766047
Отчисления на социальные нужды	руб.	263	2629814
Расходы на содержание и эксплуатацию оборудования (РСЭО)	руб.	34	337450
Амортизация активной части основных фондов (АЧОФ)	руб.	675	6749000
Затраты на ремонт	руб.	101	1012350
Заработная плата вспомогательных рабочих	руб.	409	4090822
Отчисление на социальные нужды	руб.	123	1227247

Продолжение Таблицы 30

Цеховые расходы:	руб.	71	799742
• вентиляция		1	92994
• отопление		65	652085
• освещение		5	54663
Амортизация пассивной части основных фондов (ПЧОФ)	руб.	1264	12637800
Заработная плата ИТР, служащих, МОП	руб.	179	1790725
Отчисления на социальные нужды	руб.	54	537217
Охрана труда и техника безопасности	руб.	73	732380
Полная себестоимость	руб.	144668	1423051103
Условно-переменные затраты	руб.	139731	1397309116
Условно-постоянные затраты	руб.	2574	25741987

Таким образом, себестоимость электролизного извлечения золота составляет 1423051103 рублей в год.

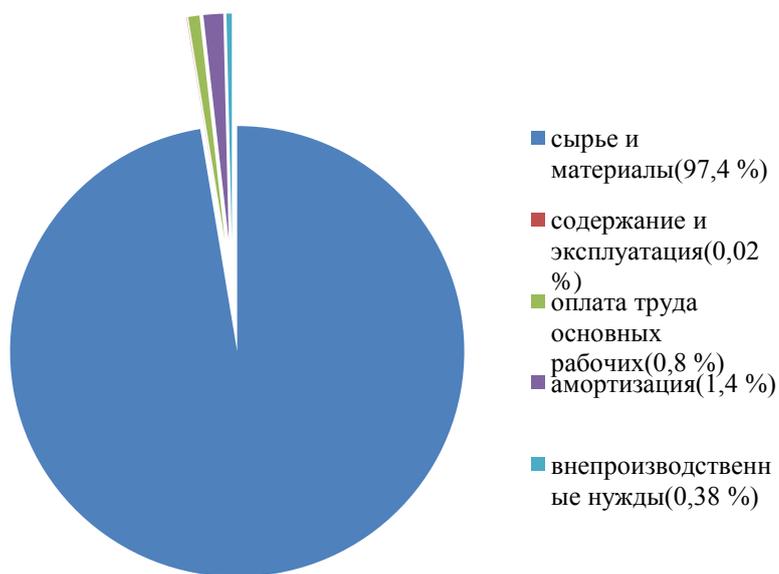


Рисунок 8 – Диаграмма основных затрат

При этом, в связи с дороговизной золотосодержащего концентрата основная доля, равная 97,4% приходится на сырьё и материалы. На содержание и эксплуатацию оборудования направляется 0,02%, на долю

оплаты труда и социальные нужды основных рабочих – 0,8%. Затраты на амортизацию составляют 1,4 % от общих затрат, 0,38% затрат направляется на внепроизводственные нужды. Диаграмма себестоимости приведена на рисунке 8.

6 Социальная ответственность

Основой ОТ является научный анализ условий труда, технологического процесса, аппаратурного оформления, применяемых и получаемых продуктов с точки зрения возникновения в процессе эксплуатации производства опасностей и вредностей.

Основным государственным документом, определяющим основы охраны труда, является статья 37 Конституции РФ [19].

На основе анализа определяют опасные участки производства, выявляют возможные опасные ситуации и разрабатывают меры их предупреждения и ликвидации.

6.1 Охрана труда и окружающей среды

Охрана труда – это система законодательных актов, социально-экономических, организационных, технических, гигиенических и лечебно-профилактических мероприятий и средств, обеспечивающих безопасность, сохранение здоровья и работоспособности человека во время труда.

Полностью безопасных и безвредных производств не существует. Задача охраны труда – свести к минимальной вероятности поражения или заболевания работающего с одновременным обеспечением комфорта при максимальной производительности труда. Реальные производственные условия характеризуются, как правило, наличием некоторых опасных и вредных факторов.

Опасным производственным фактором называется такой фактор, воздействие которого на работающего в определенных условиях, приводит к травме или другому внезапному, резкому ухудшению здоровья.

Вредным производственным фактором называется такой фактор, воздействие которого на работающего в определенных условиях приводит к заболеванию или потере работоспособности [6].

При работе на электролизном участке нужно соблюдать меры электробезопасности и правила техники безопасности и обращения с химическими веществами.

Для устранения возможности замыкания электродов корпус электролизера изолируют от земли и устанавливают на токоизолирующие подкладки.

При этом технологические трубопроводы подсоединяют к корпусу через изолирующие вставки. Во избежание поражения электрическим током разборку и сборку электролизера, а также установку в электролизер анодных и катодных камер производят при отключенном электропитании. Шины от выпрямителя к токоподводам прокладывают так, чтобы не мешать обслуживанию[9].

Необходимо обеспечивать вентиляцию. Сущность процесса вентиляции заключается в том, что из производственного помещения непрерывно удаляется загрязнённый воздух и одновременно подаётся свежий воздух в таких количествах, чтобы концентрация вредных веществ в воздухе была ниже предельно допустимых концентраций, а температура, влажность и подвижность воздуха соответствовали санитарным нормам.

6.2 Опасные и вредные факторы

К опасным факторам относятся:

- возможность поражения электрическим током;
- нарушение безопасных приемов и методов работ;

К вредным факторам, действующим на персонал, относятся используемые в опытах и при производстве химические вещества и реагенты:

Гипохлорит натрия (NaClO) – зеленовато-желтого цвета раствор. Обладает высокой химической активностью. Нетоксичен.

Углерод (графит) – материал анода. Термодинамически стабилен в обычных условиях. Графит имеет серо-черный цвет с металлическим

блеском, жирный на ощупь. При атмосферном давлении графит возгоняется около 3700°C.

Профессиональные заболевания – в основном антракоз и пылевой бронхит. В воздухе рабочей зоны ПДК, мг/см³: антрацит и кокс 6,0, каменный уголь 10,0, технический углерод и углеродная пыль 4,0 мг/ см³.

Возможное воздействие вредных факторов может быть обусловлено:

- превышением норм загазованности лаборатории, связанным с выходом из строя вентиляции;
- нарушением вентиляционного режима вытяжного шкафа;
- несоблюдением норм санитарии;
- неприменением СИЗ.

Электролизеры с растворами не выделяют в окружающее пространство большое количество тепла. Кроме того не смотря на герметизацию и местный отсос, в помещение проникают анодные газы. Часовой обмен в цехе должен быть равен 10-30 кратному.

Таблица 31. Основные свойства сырья и реагентов по токсичности

Наименование сырья, реагентов, продукции	Класс опасности	ПДК Рабочей зоны, мг/м ³
Гипохлорит натрия (NaClO)	4	1
Тетрахлороаурат натрия(NaAuCl ₄)	4	1
Гидроксид натрия(NaOH)	0,5	2

6.3 Электробезопасность

Электробезопасность достигается как организационными, так и техническими мероприятиями.

Защита от напряжения при прикосновении к токоведущим частям устройств обеспечивается с помощью их изоляции, блокировки и недоступного расположения токоведущих частей. Для изоляции применяются различные материалы из диэлектриков. Блокировка предусматривает отключение питающих напряжений при снятии ограждений.

Для защиты от токов короткого замыкания необходимо соблюдения правил эксплуатации сетей и проборов, ремонта и испытаний. Для локализации последствий короткого замыкания используется быстродействующая релейная защита, выключатели и плавкие предохранители.

Для защиты от поражения током в результате перехода напряжения на металлические корпуса приборов используется заземление. Сопротивление заземления должно быть не более 4 Ом, сечение провода, соединяющего шину заземляющего контура, с корпусом прибора должно быть не меньше 2,5 мм².

При работе должны выполняться требования:

- не допускается использование электроприборов с неисправными шнурами;
- не использовать неисправные электроприборы;
- не оставлять без присмотра включенные приборы;
- проверять блокировки приборов;
- приборы должны иметь световую индикацию о наличии питания;
- приборы должны быть заземлены;
- если работа не ведется, то силовой рубильник должен быть выключен.

В помещении/цехе должна быть аптечка первой помощи, огнетушители.

При обнаружении каких-либо неисправностей работу необходимо прекратить и сообщить об этом руководству.

Воздействие тока на организм человека может быть очень сильным и не редко заканчивается смертельным исходом. Различают электрические удары, когда током поражается весь организм в целом, и электротравмы, при которых получают местные внешние поражения тела – ожоги, метки.

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

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

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

стесняющей его одежды, положить на спину или живот и применить искусственное дыхание.

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

Основными мерами защиты человека от поражения электрическим током являются:

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

Ограждение токоведущих частей является обязательной частью конструкции электрооборудования.

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

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

При обнаружении дефектов в изоляции проводов, неисправностей пускателей, розеток и другой арматуры электрооборудования, а также нарушения заземления и ограждений, немедленно должны быть приняты меры по устранению этих дефектов [6].

6.4 Вентиляция производственных помещений

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

Производительность по кратности воздухообмена рассчитывается по формуле:

$$L=n \cdot S \cdot H \quad (205)$$

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

S – площадь помещения, м^2 ;

H – высота помещения, м.

Рассчитаем производительность по формуле:

$$L = 3 \cdot 234 \cdot 8,4 = 5896,8 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Такую производительность обеспечивает вентилятор марки ВО 5,6 с производительностью до $10500 \text{ м}^3/\text{час}$, с электродвигателем мощностью $0,75 \text{ кВт}$.

6.5 Освещение

В цехе применяется искусственное освещение комбинированного типа. Используются люминесцентные светильники типа ОДА, ПВЛ-1.

Для создания благоприятных рабочих условий, степень освещённости в производственных помещениях нормируется, норма освещения составляет 300 лк .

Число светильников для цеха определяется по формуле:

$$n = \frac{E \cdot S \cdot Z \cdot K}{F \cdot U \cdot m} \quad (206)$$

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

S – площадь помещения, $S = 234$ м²;

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

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

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

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

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

$$n = \frac{300 \cdot 234 \cdot 1,2 \cdot 1,2}{2130 \cdot 0,55 \cdot 2} = 43,2.$$

Расчетное количество ламп ЛД 40 составило 44 штуки. Высота подвеса светильников должна быть не меньше 1 м.

6.6 Пожарная безопасность

Электролизное производство относится к категории Е по пожаро-взрывобезопасности, т.е. пожары, связанные с горением электроустановок.

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

- меры пожарной безопасности, предусматриваемые при проектировании и строительстве предприятия;

- меры пожарной безопасности, принимаемые при проведении технологического процесса, т.е. в период эксплуатации.

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

- нарушение элементарных правил пожарной безопасности;

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

Общими мерами по обеспечению пожаробезопасности при проведении технологических процессов являются:

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

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

При возникновении пожара персонал цеха обязан вызвать пожарную команду по телефону 01, сообщить руководству и принять меры к

ликвидации пожара в соответствии с «инструкции о мерах пожарной безопасности химического цеха» [8].

6.7 Охрана окружающей среды

Любое химико-металлургическое производство имеет определенные отходы и потери ценных продуктов, выделяемые в виде выбросов в атмосферу (газообразных, пылевых, капельных), стоков в водоемы и отвалов твердых продуктов, которые могут вредно воздействовать на людей и природу.

Отходы могут выделяться организованно и неорганизованно. К неорганизованным выделениям относятся потери перерабатываемых продуктов в атмосферу производственных помещений и последующий вынос их в окружающее воздушное пространство. Неорганизованные выделения отходов и потери нельзя отождествлять с какими-либо конкретными продуктами и соответственно нельзя организованно обезвредить.

Выбросы в атмосферу химических веществ является по существу, невозвратимой потерей ценных реагентов и наносят огромный вред окружающей среде [6].

6.7.1 Защита атмосферного воздуха

Одним из главных направлений работы по охране природы и защите людей на прилегающих к промышленной площадке территориях является максимальное сокращение неорганизованного выделения отходов и потерь в проектируемом производстве.

Для отходов, организованно выводимых из процесса производства, имеются следующие основные пути обезвреживания:

- возврат в процесс производства для повторного использования.

– воздух вентиляционных систем помещений подается на очистку на комплекс газоочистных сооружений (фильтр).

Остатки графита и углерода накапливаются в специальных контейнерах, для дальнейшей их отправки на соответствующие перерабатывающие предприятия. Графит после измельчения и переработки используется снова для изготовления тиглей и электродов.

Газы проходят очистку на комплексе газоочистных сооружений. В циклоне задерживаются твердые примеси. В холодильнике накапливается электролит, который после несложной очистки используется повторно [6].

6.7.2 Защита прилегающей территории от загрязнения твердыми отходами

К твердым отходам производства относятся пыли, электролит. Твердые отходы производства, если они не могут где ни было полезно использоваться, подвергаются захоронению. Продукты, захороняемые в отвалах, являются химически инертными и малорастворимыми. Размещение и конструкция контейнеров исключает возможность выноса из него накапливаемых продуктов.

Отходы затариваются в полиэтиленовые мешки и хранятся в специально отведенном месте до принятия решения об их переработки [6].

7 Автоматизация процесса

Система автоматизации предназначена для реализации функций контроля и управления технологическими параметрами процесса отделения автоклавного выщелачивания монацитового концентрата[20].

7.1 Описание функциональной схемы автоматизации

Выщелачивающий раствор и концентрат поступают в агитатор (I) для приготовления католита. Расход выщелачивающего раствора регулируют с помощью вентиля (поз. 2-7) по показателям расходомера (поз. 2-1). Верхний уровень раствора в агитаторе (I) контролируется с помощью уровнемера (поз. 4-1). В случае превышения допустимого уровня, срабатывает сигнализация.

При работе электролизера не допускаются перерывы в подаче анолита, а также переполнение анодных сборок и катодного пространства, уровень контролируется уровнемером (поз. 8-1, 13-1, 15-1). Анодные и катодные блоки подключены системой проводов (шлейф) к источнику питания, оборудованному вольтметром (поз. 9-1, 12-1, 15-1) и амперметром (поз. 10-1, 11-1, 14-1).

Вода и NaOH поступают в агитатор (II) для приготовления анолита. Расход воды регулируют с помощью вентиля (поз. 22-7) по показателям расходомера (поз. 22-1). Верхний уровень раствора в агитаторе (II) контролируется с помощью уровнемера (поз. 20-1). В случае превышения допустимого уровня, срабатывает сигнализация. Так же контроль в агитаторе (II) подлежит уровень pH раствора. Расход неотработанного анолита, который идет на доукрепление новой порции раствора анолита, регулируют с помощью вентиля (поз. 18-7) по показателям расходомера (поз. 18-1).

Полученный в ходе электролиза осадок идет на фильтрацию. Раствор после фильтрации собирается в бак (III), где контролируется уровень данного раствора. В случае превышения допустимого уровня, срабатывает сигнализация.

Осадок после фильтрации отправляется на сушку в печь. Контроль температуры в печи осуществляется с помощью термопара ПП (S) (поз. 29-1).

Просушенный осадок собирают в бак (IV), где контроль подлежит вес данного осадка (поз. 31-1). Далее золотой порошок отправляется в цех по производству золотых слитков.

7.2 Перечень технологических параметров, подлежащих контролю, регулированию, сигнализации

Контролю и регистрации подлежат:

- расход анолита при подачи из электролизера в агитатор II (0,2 м³/ч);
- расход выщелачивающего раствора при подачи в агитатор I (0,43 м³/ч);
- расход воды при подаче в агитатор II (0,86 м³/ч);
- уровень электролита в электролизерах (поз. 9-1, 11-1, 13-1);
- уровень раствора в агитаторе I;
- уровень раствора в агитаторе II;
- уровень раствора в баке III;
- уровень выщелачивающего раствора в баке V;
- уровень воды в баке VI;
- pH раствора в агитаторе II (pH=14);
- давление газа на выходе из электролизера (0,0188 МПа);
- сила тока на катодном и анодном блоке (847А);
- напряжение на катодном и анодном блоке (12,6 В);
- масса конечного продукта в ёмкости IV (5 кг);

- температура в печи (300 °С);
- частота оборотов (поз. 6-1, 26-1).

Регулировке подлежат:

- расход анолита при подаче в агитатор II;
- расход выщелачивающего паствора;
- расход воды;
- температура в печи.

Сигнализации подлежат:

- нижний уровень анолита в агитаторе II;
- нижний уровень католита в агитаторе I;
- верхний уровень выщелачивающего раствора;
- верхний уровень воды;
- верхний уровень раствора в баке III;
- верхний уровень электролита.

7.3 Перечень первичных преобразователей

Для контроля технологических параметров электролитического процесса осаждения золота выбраны контрольно-измерительные приборы, список которых представлен ниже.

1 Термопара ПП (S), предназначен для измерения температуры в барабанной сушилке.

- рабочий диапазон измеряемых температур: от 0 до 500 °С;
- погрешность: $\pm 0,5$ %;
- питание – 220 В;
- частота – 50 Гц;
- позиция: 29-1.

2 Ультразвуковой расходомер Portaflow 330A&B для измерения объемного (массового) расхода.

- наибольший расход: 2 м³/ч;
- наименьший расход: 0,002 м³/ч;
- температура окружающей среды: –20 до 135 °С;
- давление измеряемой среды: до 1,6 МПа;
- относительная погрешность: ±0,5 %;
- позиция: 2-1, 18-1, 22-1.

3 Вибрационный сигнализатор уровня Rosemount серии 2130 предназначен для контроля предельных уровней жидкостей в реакторах, технологических емкостях и товарных резервуарах.

- контролируемые среды: практически все жидкости с плотностью не ниже 500 кг/м³ и вязкостью от 0,2 до 10000 сП;
- температура процесса: от –70 до 260 °С;
- температура окружающей среды: от –40 до 80 °С;
- давление процесса: от –0,1 до 10 Мпа;
- погрешность: ±1%;
- выходной сигнал: 4–20 мА;
- позиция: 1-1, 4-1, 8-1, 13-1, 16-1, 20-1, 21-1, 32-1.

4 Тензометрический односточный датчик К-О-10А предназначены для измерения малых нагрузок и используются при изготовлении платформенных весов, дозаторов, фасовочного оборудования.

- наибольший предел : 15 кг;
- температура измеряемой среды: -30 до 60 °С;
- относительная погрешность: ±1,5 %;
- позиция: 31-1.

- 5 Манометр МП2-Уф исп. I.
- диапазон от 0 до 25 МПа;
 - класс точности 2,5;
 - позиция: 27-1.
- 6 Амперметр Э378 для измерений постоянного тока.
- диапазон от 200 до 1000 А;
 - номинальная частота: 50 Гц;
 - погрешность $\pm 1,5$ %;
 - температура от -50 до +60 °С;
 - позиция: 10-1, 11-1, 14-1.
- 7 Вольтметр Э378 для измерений постоянного тока.
- диапазон от 0 до 15 В;
 - номинальная частота: 50 Гц;
 - погрешность $\pm 1,5$ %;
 - температура от -50 до +60 °С;
 - позиция: 9-1, 12-1, 15-1.
- 8 pH-метр AnaCONT для определения уровня pH в различных растворах
- диапазон измерения pH - 0...14;
 - температура применения : -15...100°С;
 - питание постоянное, гальванически изолированное, 12...36 В;
 - погрешность $\pm 0,1$ pH;
 - позиция: 25-1.

9 Тахометр/стробоскоп АТТ-6002 для определения скоростей вращения недоступных валов и деталей механизмов

- диапазон измерений от 5 до 99 999 об/мин;
- разрешение 0,1 об/мин;
- погрешность 0,05%;
- позиция: 6-1, 26-1.

7.4 Автоматизация процесса с использованием ЭВМ

Применение ЭВМ в схемах автоматизации технологических процессов позволяет решать задачи оптимального управления путём обработки текущей статистической информации. При этом рассчитываются текущие и оптимальные значения величин процесса, непосредственное измерение которых затруднено. При отклонении текущих значений от оптимальных, вырабатываются новые задания, локальным автоматическим регуляторам с целью поддержания процесса на оптимальном уровне.

Классификация по применению вычислительной техники в системах управления:

- АСУ ТП без применения ЭВМ.
- АСУ ТП с применением ЭВМ в информационном режиме.

Фиксирует параметры процесса, ошибки операторов.

– ЭВМ в режиме советчика оператору. По рекомендации ЭВМ, полученной по математической модели, учета личных знаний и опыта оператор реализует управляющее воздействие по достижению оптимальных выходных и режимных переменных. Наиболее часто режим советчика – оператору реализуется в диалоговом режиме, когда совет выдается по запросу оператора.

– супервизорное управление. В автоматическом режиме АСУ ТП вырабатывает и реализует управляющее воздействие без участия оператора:

ЭВМ выполняет функции центрального управляющего устройства, изменяя задания АР или коэффициента настройки АР;

– режим прямого цифрового управления. Прямое цифровое управление (ПЦУ), когда ЭВМ непосредственно вырабатывает сигналы управления на исполнительные устройства. Входной информацией для вычисления уставок являются расход исходного раствора. Оператор с пульта управления имеет возможность вводить дополнительную информацию, в частности, изменять ограничения на управляемые и управляющие переменные, уточнять критерий управления в зависимости от внешних факторов. Супервизорный способ управления применяется для управления регуляторами стабилизации расхода.

Супервизорный режим позволяет осуществлять автоматическое управление процессом. Роль оператора сводится к наблюдению за процессом и, в случае необходимости, к корректировке цели управления и ограничений на переменные. Роль АСУ ТП сводится к регулированию процесса в автоматическом режиме.

Действия оператора при пуске технологического процесса:

Оператор двигателя шнекового питателя для подачи твердых компонентов приготавливаемой пульпы. После заполнения агитатора до заданного уровня включается перемешивающее устройство. В момент заполнения аппарата по верхнему уровню включаются насосы для подачи приготовленных растворов (католит и анолит) в электролизер, подается напряжение на катодные и анодные сборки. Включается насос для перекачки анолита в агитатор II на доукрепление раствора. После данных операций контроль над процессом переходит к ЭВМ. Процесс непрерывный.

Действия оператора при нормальном режиме технологического процесса:

Процесс электролизного получения золота из технологических растворов является автоматизированным, поэтому оператор только

определяет направление потока католита (на три электролизера), следит за показателями.

Действия оператора при остановке технологического процесса:

Начальным действием является прекращение подачи напряжения на катодные и анодные сборки. Затем останавливается процесс приготовления пульпы в агитаторе.

Заключение

По результатам выполнения данного дипломного проекта можно сделать следующие выводы:

1 представлена принципиальная технологическая схема получения золота из технологических растворов электролизом;

2 предложено аппаратное оформление к представленной принципиальной технологической схеме;

3 произведены расчёты материального и теплового балансов основных стадий, обозначенных в принципиальной технологической схеме;

4 рассчитан и сконструирован основной аппарат – электролизер;

5 рассмотрена строительная часть проекта, определены размеры здания и произведено планирование помещений и размещение оборудования;

6 рассчитаны основные технико-экономические показатели проекта, подтверждающие эффективность и перспективность данного проекта;

7 рассмотрены вопросы обеспечения безопасного ведения работ в спроектированном цеху;

8 разработана функциональная схема автоматизации, упрощающая управление процессами, облегчающая труд и сокращающая численность обслуживающего персонала.

Список используемых источников

- 1 Вестник золотопромышленника. Аналитика [Электронный ресурс]: Россия третья в мире по добыче золота. – 2014. – URL: <http://gold.1prime.ru/bulletin/analytics/show.asp?id=30886>, доступ свободный. – Яз. рус. Дата обращения 16.10.2015 г.;
- 2 Gold Mania. Применение [Электронный ресурс]: Золото – применение. – 2014. – URL: http://goldomania.ru/menu_028.html, доступ свободный. – Яз. рус. Дата обращения 19.10.2015.;
- 3 Поисково-аналитический портал «Zondir». Промышленность и производство [Электронный ресурс]: Актуальные проблемы золотодобывающей отрасли. – 2010. – URL: <http://www.zondir.ru/articles/aktualnyie-problemyi-zolotodobyivayuschej-otrasli.htm>, доступ свободный. - Яз. рус. Дата обращения 19.10.2015.;
- 4 Павлов К.Ф., Романков П.Г., Носков А.А., Примеры и задачи по курсу химической технологии. Учебное пособие для вузов/Под ред. чл.-корр. АН СССР П.Г. Романкова. – 10-е изд., перераб. и доп. – Л.: Химия, 1987. – 576 с.;
- 5 Банкирша. Запасы золота 10 стран мира [Электронный ресурс]: Запасы золота в России и в отдельных странах мира. – 2013. – URL: <http://bankirsha.com/krupneyshie-banki-derzhateli-zolota-v-mire.html>, доступ свободный. – Яз. рус. Дата обращения 17.10.2015.;
- 6 Сервис публикации документов «Досме». Каталог [Электронный ресурс]: Охрана труда и окружающей среды. – 2011. – URL: <http://www.docme.ru/doc/270563/4-ohrana-truda-i-okruzhayushhej-sredy>, доступ свободный. - Яз. рус. Дата обращения 27.12.2015.;
- 7 Информационный портал «Стройка». Безопасность и охрана труда [Электронный ресурс]: СП 12-135-2003. – 2003. – URL: http://stroyka-ip.ru/xsv_sv_ndpot_b/sp-12-135-2003/sp-12-135-2003-0024.html, доступ свободный. - Яз. рус. Дата обращения 29.12.2015.;

- 8 Production management. Управление и оптимизация производственного предприятия [Электронный ресурс]: Организация пожарной безопасности на предприятии. – 2012. – URL: http://productm.ru/file/organisation_fire_safety_at_factory/, доступ свободный. - Яз. рус. Дата обращения 29.12.2015.;
- 9 Барченков В.В. Основы сорбционной технологии извлечения золота и серебра из руд. – М.: Metallurgia, 1982. – 128 с.;
- 10 Масленицкий И.Н., Metallurgia благородных металлов. - 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Metallurgia, 1987 – 432 с.;
- 11 Истомина Н.В., Оборудование химических производств. – 2-е изд., перераб. – Ангарск: АГТА, 2010 – 100 с.;
- 12 Стрижко Л.С. Metallurgia золота и серебра. – М.: МИСиС, 2001 – 336 с.;
- 13 Ветюков М.М., Цыплаков А.М., Школьников С.Н. Электро-metallurgia алюминия и магния. – М.: Metallurgia, 1987. – 320 с.;
- 14 О.Г. Денисов Основания и фундаменты промышленных и гражданских зданий: тематический план издательства «Высшая школа», 1968. – 369с.;
- 15 Строй-справка [Электронный ресурс]: Отопление, водоснабжение, канализация. – 2014. – URL: <http://stroy-spravka.ru>, доступ свободный. - Яз. рус. Дата обращения 20.12.2015.;
- 16 В.А. Макаревич. Строительное проектирование химических предприятий. - М: Высшая школа, 1977. -106 с.;
- 17 Трепененков Р.И. Альбом чертежей конструкций и деталей промышленных зданий. 3-е изд. перераб. и доп.– М.; Стройиздат, 1980. – 284 с.;
- 18 Станиславчик Е.Н. Финансовый анализ инвестиционного проекта. – М.; «Ось-98», 2000. – 96 с.;
- 19 Конституция Российской Федерации (по состоянию на 15 ноября 2006 года) – Нск; «Сиб. унив. изд-во», 2006.;

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