

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 диплома
Проект установки электролитического получения титанового порошка производительностью 30 кг/час.

УДК 669.295

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0412	Гайворонский А.В.		

Руководитель

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

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

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

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент кафедры ХТРЭ	Акимов Д.В.			

По разделу «Автоматизация процесса»

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

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

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

Томск – 2017 г.

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ООП 18.05.02
«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 достижения науки и техники, уметь обрабатывать и критически оценивать полученные данные, делать выводы, формулировать практические рекомендации по их применению; использовать основы изобретательства, правовые основы в области интеллектуальной собственности
P6	Разрабатывать новые технологические схемы, рассчитывать и выбирать оборудование, применять средства автоматизации, анализировать технические задания и проекты с учетом ядерного законодательства
<i>Универсальные компетенции</i>	
P7	Представлять современную картину мира на основе целостной системы естественнонаучных и математических знаний, ориентироваться в ценностях бытия, жизни, культуры; иметь широкую эрудицию, в том числе знание и понимание современных общественных и политических проблем
P8	Воспринимать, обрабатывать, анализировать и обобщать научно-техническую информацию, передовой отечественный и зарубежный опыт в области изучения свойств, методов и технологий получения и переработки материалов современной энергетики
P9	Применять иностранный язык в сфере коммуникаций и профессиональной деятельности, представлять результаты научных исследований и разработок в виде отчетов, публикаций, публичных обсуждений
P10	Уметь эффективно работать индивидуально, в качестве члена команды по междисциплинарной тематике, руководить командой, быть способным оценивать, принимать организационно-управленческие решения и нести за них ответственность; следовать корпоративной культуре организации, кодексу профессиональной этики, ответственности и нормам инженерной деятельности
P11	Понимать необходимость и уметь самостоятельно учиться и повышать

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
0412	Гайворонскому Андрею Валерьевичу

Тема работы:

Проект установки электролитического получения титанового порошка производительностью 30 кг/час
Утверждена приказом директора (дата, номер)

Срок сдачи студентом выполненной работы:	18 января 2017 года
--	---------------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

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; энергозатраты; экономический анализ и т.д.).</i>	Производительность: 30 кг/час Состав электролита: 0,35M KF, 0,47M KCl, 0,18M K₂TiF₆. Выход по току: 84% Содержание титана в катодном осадке: 15%
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	Введение. ТЭО 1. Аналитический обзор существующих методов получения титана 2. Теория выбранного процесса. Разработка и описание аппаратурно-технологической схемы 3. Расчетная часть

	3.1 Расчет материального баланса 3.2 Расчет теплового баланса 4. Аппаратный расчет. Расчет геометрии и габаритов аппаратов технологической схемы 5. Автоматизация процесса 6. Строительная часть 7. Социальная ответственность 8. Экономическая часть Заключение
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 Лилия Равильевна
Социальная ответственность	Акимов Дмитрий Васильевич
Автоматизация процесса	Вильнина Анна Владимировна
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	1 октября 2016 года
---	----------------------------

Задание выдал руководитель:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0412	Гайворонский Андрей Валерьевич		

Определения, обозначения, сокращения, нормативные ссылки

Обозначения и сокращения :

АСУТП – автоматизированная система управления технологическими процессами;

ФСА – функциональная схема автоматизации;

ЭВМ – электронная вычислительная машина;

ЭДС – электродвижущая сила;

ГП – готовый продукт (продукция);

ППР – плановый предупредительный ремонт;

ТБ – техника безопасности;

КПД – коэффициент полезного действия;

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.

Нормативные ссылки:

ГОСТ Р 1.5-2012 Стандартизация в Российской Федерации.
Стандарты

национальные. Правила построения, изложения , оформления и обозначения.

ГОСТ 2.104-2006 Единая система конструкторской документации
(ЕСКД). Основные надписи.

ГОСТ 2.106-96 Единая система конструкторской документации
(ЕСКД). Текстовые документы.

ГОСТ 2.301-68 Единая система конструкторской документации (ЕСКД). Форматы.

ГОСТ 2.316-2008 Единая система конструкторской документации (ЕСКД). Правила нанесения надписей, технических требований и таблиц на графических документах.

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

ГОСТ 23838-89 Здания предприятий . Параметры.

СП 29.13330 .2011 Полы.

СП 30.13330.2012 Внутренний водопровод и канализация зданий

СП 56.13330.2011 Производственные здания.

ГОСТ Р 7.0.5-2008 СИБИД. Библиографическая ссылка. Общие требования и правила составления.

ГОСТ 7.1-2003 СИБИД. Библиографическая запись. Библиографическое описание. Общие требования и правила составления.

ГОСТ 7.9-95 (ИСО 214-76) СИБИД . Реферат и аннотация. Общие требования.

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

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

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

ГОСТ 9931-85 Корпуса цилиндрические стальных сварных сосудов и аппаратов. Типы, основные параметры и размеры.

ГОСТ 28759.3-90 Фланцы сосудов и аппаратов стальные приварные встык. Конструкция и размеры.

АТК 24.218.06-90 Штуцера для сосудов и аппаратов стальных сварных. Типы, основные параметры, размеры и общие технические требования.

ГОСТ 29057-91 Костюмы мужские для защиты от нетоксичной пыли.
Технические условия.

ГОСТ 27653-88 Костюмы мужские для защиты от механических воздействий, воды и щелочей. Технические условия.

ГОСТ 27652-88 Костюмы мужские для защиты от кислот.
Технические условия.

ГОСТ 12.4.127-83 ССБТ. Обувь специальная. Номенклатура показателей качества.

ГОСТ 12.4.153-85 ССБТ. Очки защитные. Номенклатура показателей качества.

ГОСТ 12.4.028-76 ССБТ. Респираторы ШБ-1 "Лепесток".
Технические условия.

ГОСТ 12.1.003.2014 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности.

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

ГОСТ 12.4.010-75 ССБТ. Средства индивидуальной защиты.
Рукавицы специальные. Технические условия.

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

Реферат

Выпускная квалификационная работа в форме дипломного проекта содержит 111 с., 18 рисунков, 22 таблицы, 41 источник, 2 приложения.

Ключевые слова: электролиз, диоксид титана, катодный осадок.

Цель работы: спроектировать цех электролитического получения порошка металлического титана.

Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики: Объем и габаритные размеры основного аппарата составляют: $L = 2000$ мм, $H = 2000$ мм, $N = 1600$ мм; выход по току – $B_t = 84$ %; Содержание титана в катодном осадке 15 %.

Область применения: Химическая технология редких металлов.

Экономическая эффективность/значимость работы: Капитальные затраты составляют – 143563592,6 рублей; экономический эффект – снижение себестоимости титанового порошка и увеличение прибыли.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	12
1 Аналитический обзор.....	13
1.1 Способы электролитического восстановления титана	13
1.2 OS-процесс.....	19
1.3 Kroll-процесс	21
1.4 HUNTER-процесс.....	25
1.5 Фторидно-хлоридная технология получения титана	28
2 Технологическая часть	33
2.1 Принципиальная блок-схема проведения электролиза.....	33
2.2 Аппаратурно-технологическая схема	34
2.3 Материальный баланс.....	37
2.4 Тепловой баланс электролизёра	42
3 Аппаратный расчет	48
3.1 Расчет количества ванн	48
3.2 Расчет габаритных размеров электродов.....	49
3.3 Расчет габаритных размеров электролизера	51
4 Механический расчет.....	54
4.1 Расчет толщины стенок коробчатой обечайки	54
4.2 Расчет толщины обечайки рубашки охлаждения	55
4.3 Расчет опор	56
5 Гидравлический расчет.....	58
5.1 Расчет штуцеров рубашки охлаждения	58
5.2 Подбор размера штуцера подачи аргона	60
5.3 Расчет штуцера подачи и выгрузки электролита	61

6 Строительная часть	62
6.1 Фундамент	62
6.2 Наружные стены.....	63
6.3 Покрытие.....	63
6.4 Полы	64
6.5 Водоснабжение.....	64
6.6 Окна, двери, ворота.....	65
6.7 Канализация.....	66
7 Социальная ответственность	67
7.1 Общая характеристика производства	67
7.2 Промышленная санитария	68
7.3 Микроклимат	70
7.4 Вентиляция	71
7.5 Электроосвещение	72
7.6 Электробезопасность	73
7.7 Мероприятия по защите от шума и вибрации	75
7.8 Пожарная безопасность.....	76
7.9 Охрана окружающей среды	77
7.10 Заключение по разделу.....	78
8 Автоматизация процесса	79
8.1 Составление функциональной схемы автоматизации.....	79
8.2 Описание функциональной схемы автоматизации	80
8.3 Перечень технологических параметров, подлежащих контролю, регулированию, сигнализации.....	82
8.4 Перечень первичных преобразователей, использованных в проекте	83

8.5 Автоматизация процесса с использованием ЭВМ	87
8.6 Заключение по разделу автоматизации	89
9 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	90
9. 1 Определение баланса времени одного рабочего	90
9.2 Расчет численности основных рабочих	91
9.3 Расчет численности вспомогательного персонала	93
9.4 Расчет численности специалистов, руководителей и служащих	94
9.5 Расчет годового фонда заработной платы	94
9.5.1 Расчет фонда заработной платы основных рабочих	94
9.5.2 Расчет фонда дополнительной заработной платы	96
9.5.3 Расчет фонда заработной платы вспомогательных рабочих	97
9.5.4 Расчет фонда дополнительной заработной платы	98
9.5.5 Расчет годового фонда заработной платы руководителей, специалистов и служащих	99
9.6 Расчет капитальных затрат	101
9.7 Расчет затрат на материалы и оборудование	102
9.8 Расходы на содержание здания	103
9.9 Расходы на содержание и эксплуатация оборудования	104
9.10 Расходы на технологические нужды	104
9.11 Калькуляция себестоимости передела	106
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	109
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	110

ВВЕДЕНИЕ

Титан относится к самым распространенным металлам и обладает уникальными свойствами. Благодаря высокой удельной прочности тугоплавкости и жароустойчивости, он нашел широкое применение в промышленности, а именно в таких отраслях как судостроение, атомная техника, аэрокосмическая отрасль и медицина. Но, из-за сложного состава титанового сырья и высокого сродства к кислороду присутствуют некоторые трудности при получении чистого металлического титана, обуславливая необходимость многопередельного производства, и сложную аппаратно-технологическую схему, реализованную в одном из основных способов получения металлического титана - процессе Кроля. Широкое применение титана сдерживается большим количеством промежуточных стадий при существующем производстве металла и соответственно высокой себестоимостью. Многочисленные попытки промышленной реализации непрерывного электролитического метода получения титана электролизом расплавов его солей не увенчались успехом.

В последние годы проявляется значительный интерес к исследованиям электролитического метода получения титана из оксидного сырья. Главной особенностью методов электролитического получения титана является исключение цикла производства металлического восстановителя – кальция или натрия. Установлено, что диоксид титана растворяется в фторотитонате калия подобно оксиду алюминия в криолите, что делает возможным электролитическое производство титана из хлоридно-фторидных расплавов. В данном проекте будет рассмотрен метод получения титана, который позволит снизить себестоимость титана по сравнению с методом Кроля за счёт отказа от дорогостоящего металла восстановителя магния.

Цель работы: спроектировать цех электролитического получения порошка металлического титана.

1 Аналитический обзор

1.1 Способы электролитического восстановления титана

В современном мире существует лишь 2 технологии получения металлического титана в промышленных масштабах – это натриетермический Hunter и магниетермический Kroll процессы. Однако эти процессы обладают рядом серьезных недостатков. Общими недостатками технологических процессов переработки титановых концентратов (рутила и ильменита) являются большие удельные затраты химических реагентов, и как следствие, их сброс в виде отходов в окружающую среду и открытые водоемы, низкий выход целевых товарных продуктов, недостаточная чистота товарных продуктов и высокая стоимость переработки. По этим причинам использование титана в виде высокочистого металла тормозится и составляет незначительную долю от общего количества перерабатываемых полиметаллических концентратов редких металлов. Поэтому синтез высокочистого титана и конструкционных материалов на основе его карбидов, нитридов, боридов и их соединений может быть организован в промышленном масштабе только с использованием принципиально новых технологических процессов и оборудования.

В связи с показанными выше недостатками Hunter и Kroll процессов, титановая промышленность ищет более экономичные пути производства титана. В настоящее время интенсивно исследуются электролитические способы получения титана как наиболее прогрессивные.

Рассмотрим эти способы более подробно.

В 1950-х годах компанией National Lead Industries и бывшим Горным бюро США была построена небольшая установка для изучения электрохимического извлечения титана из эвтектической смеси LiCl-KCl с добавкой TiCl_2 . После серии экспериментов было заявлено о получении титана высокой чистоты. В данной компании подобрали оптимальные рабочие условия для проведения экспериментов: в электролизёре была установлена пористая

корундовая диафрагма для предотвращения уноса TiCl_4 хлором, выбрали рабочую температуру от 500 до 550 °C для исключения сильной коррозии корундовой диафрагмы. Массовая доля TiCl_2 в расплаве от 2 до 4 %, плотность тока на катоде от 1 до 5 кА/м^2 , анодная плотность тока от 5 до 10 кА/м^2 , плотность тока на диафрагме 1,5 кА/м^2 . Полученный титан обладал твердостью по Бринеллю не более 68 единиц и выходом по току 60 %. Проблемой оказались очень частые разрушения диафрагмы, которая периодически зарастала кристаллами титана, с увеличением количества титана диафрагма становилась электропроводной и работала как биполярный электрод.

Чуть позже компанией Titanium Metal Corporation был разработан без диафрагменный электролизёр с корзиночным катодом и собрана полупромышленная установка. Катод представлял собой кубическую ёмкость с четырьмя сторонами из перфорированных стальных листов, а дно и верх из сплошного листа, подача TiCl_4 осуществлялась через патрубок, расположенный по центру корзины. Вокруг катода устанавливалось шестнадцать анодов. В начале процесса TiCl_4 подавался с низкой скоростью в центры стенок корзины. Полученный пористый осадок оседал на боковые стенки и служил диафрагмой, удерживая восстановленный TiCl_2 внутри корзины. На этой полупромышленной установке электролитическим способом было получено около 68 тонн титановой губки, пока в 1968 г. она не была остановлена с формулировкой «из-за избыточности производственных мощностей для получения губки с использованием магнийтермического процесса».

В 1971 г. Хашимото и др. разработали способ электрохимического извлечения титана из оксидов. Титан вводился в ванну расплава фторидов в виде твердой смеси TiO_2 , FeTiO_3 , CaTiO_3 . В качестве электролита испытывались CaF_2 , MgF_2 , BaF_2 , NaF и их смеси. Электролиз проводился при температуре выше 1600 °C с графитовым анодом и катодом. При использовании расплавов $\text{CaF}_2\text{-TiO}_2$ и $\text{CaF}_2\text{-CaTiO}_3$ получали расплавленный титан, загрязнённый углеродом и кислородом (2-4 % масс.), в других случаях получали только мелкодисперсный титановый порошок.

В 1985г. итальянской компанией Elettrochimica Marco Ginatta (EMG), усовершенствован процесс электролитического получения титана, в котором было реализовано растворение и восстановление тетрахлорида титана на катоде в электролите, состоящим из галогенидов щелочных или щелочноземельных металлов. Было построено опытное производство, мощности которого достигали до 70 тонн в год, но в 1990 г. проект и опытное производство было закрыто из-за невозможности решить технические вопросы.

Таким образом, ни один из выше описанных процессов не считается удовлетворительным, и не получил широкого промышленного применения. В настоящее время разрабатывается несколько электролитических методов получения титана из оксидного сырья [1].

В 2000 г. на факультете материаловедения Кембриджского университета предложен процесс прямого электролитического восстановления TiO_2 до титана в расплавленной соли $CaCl_2$. В научной литературе этот процесс получил название Кембриджский или FFC процесс. Авторы процесса утверждают, что, фиксируя определенный потенциал катода, возможно удалять кислород из диоксида титана, получая при этом металл высокой чистоты, сходный по морфологии с полученной магнийтеpmическим способом губкой. В этом процессе прессованный из диоксида титана катод и анод из графита погружаются в расплав электролита, состоящий из хлорида кальция. При прохождении постоянного тока через расплав происходит растворение в электролите TiO_2 из материала катода, его диссоциация на катионы Ti^{4+} и анионы O^{2-} . В результате электролиза на катоде происходит восстановление катионов Ti^{4+} до металлического титана, а на аноде образуется молекулярный O_2 который реагирует с графитом с образованием газов CO и CO_2 . Схема электролизера для осуществления FFC-процесса показана на рисунке 1. При проведении электролиза осадок в виде порошка титана с солями электролита осаждается на катоде, а газовая смесь CO и CO_2 , удаляется с анода. После проведения процесса электролизер останавливают, а катодный осадок направляют на отмывку для выделения титана [2].

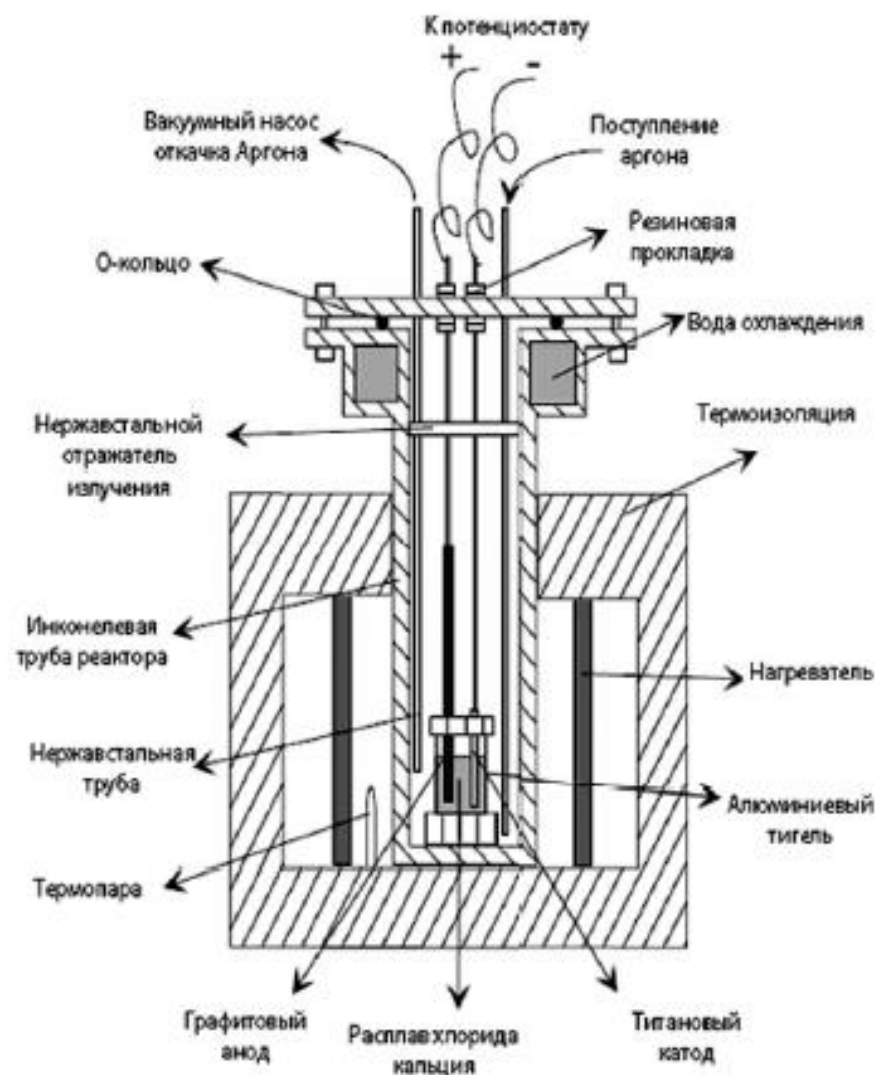


Рисунок 1 – Схема электролизера для осуществления FFC-процесса

Обязательный предварительный процесс в FFC-технологии получение порошка TiO_2 из рудного концентрата. Затем из этого порошка необходимо сформировать катоды, спечь их, и только затем проводить электролиз с последующей отмывкой катодного осадка.

Таким образом, осуществление FFC процесса позволит решить две задачи:

- не использовать дорогой металлургический метод восстановления титана магнием из TiCl_4 ,
- осуществить процесс прямого превращения оксида титан в кислород и металлический порошкообразный титан.

Диоксид титана можно карботермически восстановить до низшего оксида, а этот оксид может быть использован в различных способах электролитического производства металлического титана. Каждый из этих способов был исследован в корпорации **MER**. И один из способов был поддержан Агентством оборонных исследовательских проектов (*DARPA*). Несколько возможных вариантов электрохимического титана с использованием карботермического восстановления показаны на рисунке 2 [3].

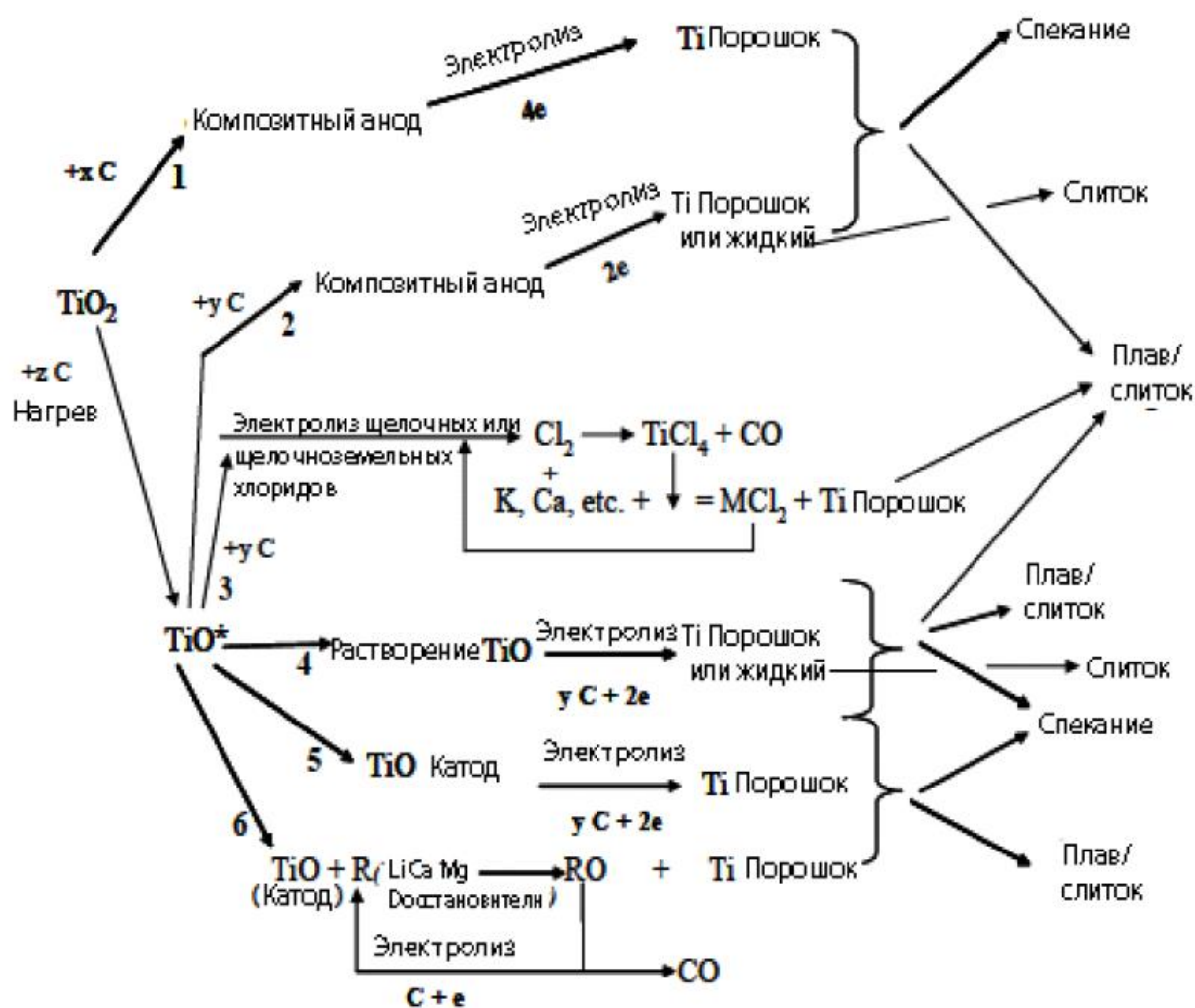


Рисунок 2 – Способы получения титана из TiO_2

Процесс, разрабатываемый, корпорацией **MER** значительно отличается от других электролитических процессов восстановления диоксида титана. В этом способе вначале необходимо при помощи карботермического восстановления TiO_2 получить композитный анод, который затем используется

в процессе электролитического восстановления. Схема MER-процесса показана на рисунке 3 [2].

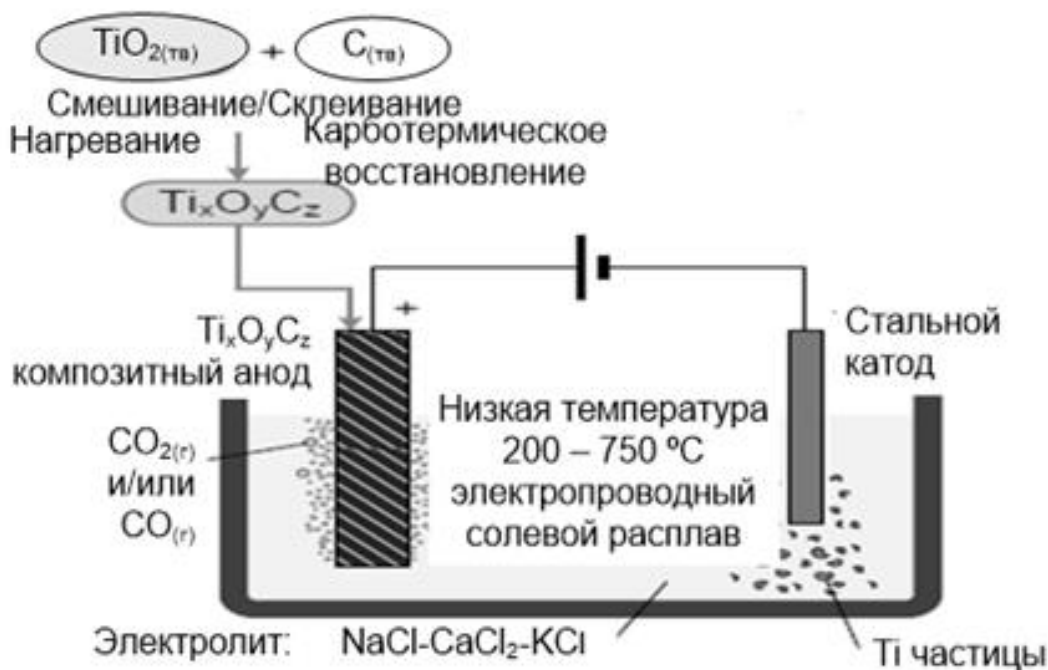
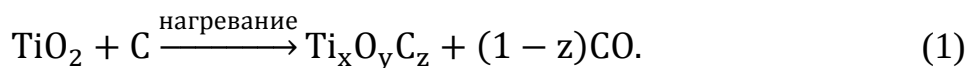


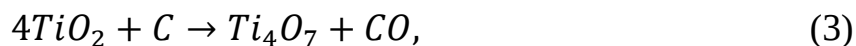
Рисунок 3 – Схема MER-процесса

При карботермическом восстановлении протекает реакция:



Значения x и y представляют все возможные соотношения формируемых промежуточных оксидов, z это часть углерода в твердой фракции.

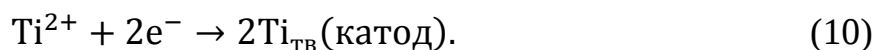
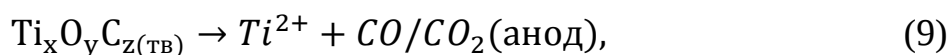
Возможные реакции карботермического восстановления:



При необходимости в восстанавливаемый продукт добавляют углерод, который необходим для того чтобы обеспечить его стехиометрическое количество. После этого вновь спекают композитный анод, который используется в процессе электролитического восстановления. Данный анод можно использовать в виде спечённого твердого анода либо в виде гранул. Для этого, используют технологию сечения угольных анодов, используемых в процессе электролиза алюминия. Композитный анод в зависимости от условий восстановления имеет плотность от 2500 до 4000 кг/м³ [2].

В процессе электролиза из композитного анода ионы Ti^{3+} и Ti^{2+} переходят в электролит и восстанавливаются на катоде, образуя твердый осадок металлического титана. На аноде выделяется смесь газов CO и CO₂.

Основные реакции процесса:



Сложностями процесса является необходимость изготовления композитных анодов, и организация токоподвода к такому композиционному материалу, не выяснена скорость изнашивания анодов.

1.2 OS-процесс

Оригинальный процесс производства титана разработан профессорами Киотского университета Японии К. Оно и Р. Сузуки, которые исследовали кальцийтермическое восстановление TiO₂, этот процесс был назван **OS-процесс**. Этот процесс является результатом объединения электролиза и кальцийтермического восстановления TiO₂ либо смеси оксидов TiO₂, Nb₂O₅, Ta₂O₅, и ZrO₂ для получения сплава Ti-29Nb-23Ta-4,6Zr (сплав «TNTZ»). Схема OS-процесса показана на рисунке 4.

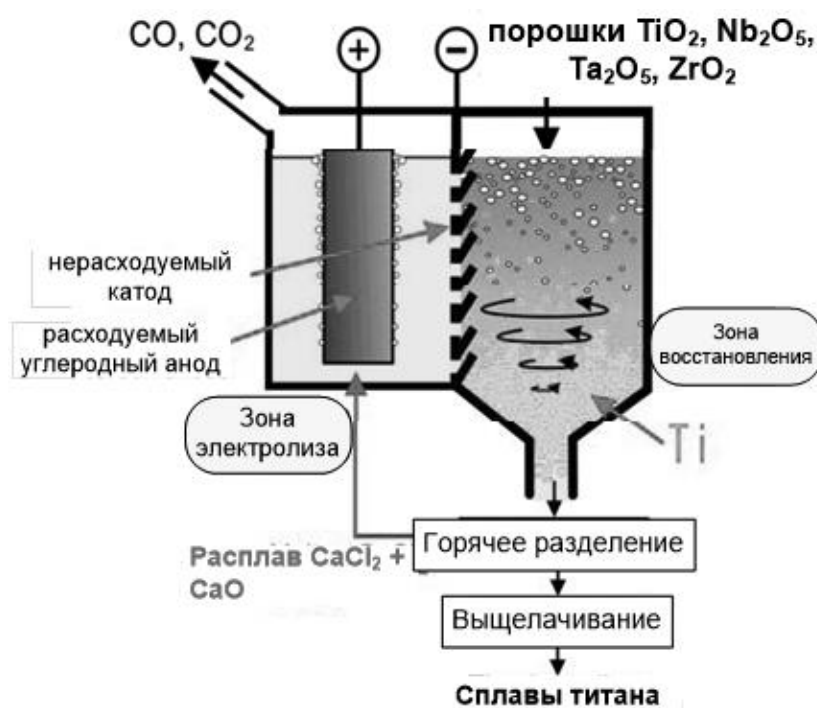


Рисунок 4 – Схема OS-процесса для получения титанового сплава

В данной схеме в качестве катода используется металлическая сетка, на которую поступает порошкообразный рутил или смесь оксидов. Анодом служат стенки графитового тигля, в котором ведется электролиз. Побочный продукт CaO растворяется в расплаве CaCl_2 вблизи катода. Электролиз ведут при напряжении выше напряжения разложения CaO , но ниже напряжения разложения CaCl_2 . Оксид кальция разлагается до металлического кальция и O^{2-} . Этот анион удаляется из расплава, в виде газов CO и CO_2 , образующихся на аноде. Выделяющийся кальций также растворяется в расплаве CaCl_2 и восстанавливает находящиеся в расплаве оксиды [4]. Авторами обнаружено, что находящиеся в электрическом контакте с катодом частицы TiO_2 могут восстанавливаться до титана с низким уровнем кислорода. Однако, до промышленного производства качественного порошка требуется решение многих вопросов. В данном процессе восстановление рассматривается как кальцийтермический процесс, при этом возможность электролитического восстановления получаемых промежуточных оксидов не изучена, так же не

предложен процесс придания формы гранулам титана, кроме плавки, что может значительно повлиять на себестоимость продукта.

Для того, чтобы показать преимущества альтернативных разрабатываемых технологий получения титана рассмотрим также металлотермические способы производства титана.

1.3 Kroll-процесс

Основные промышленно выпускаемые концентраты, используемые для производства титана магнийтермическим восстановлением (Kroll-процесс) – ильменитовый и рутиловый. На рисунке 5 приведена общая схема переработки ильменитового концентрата. Видно, что хлорид титана производят хлорированием титанового шлака, полученного из концентрата.

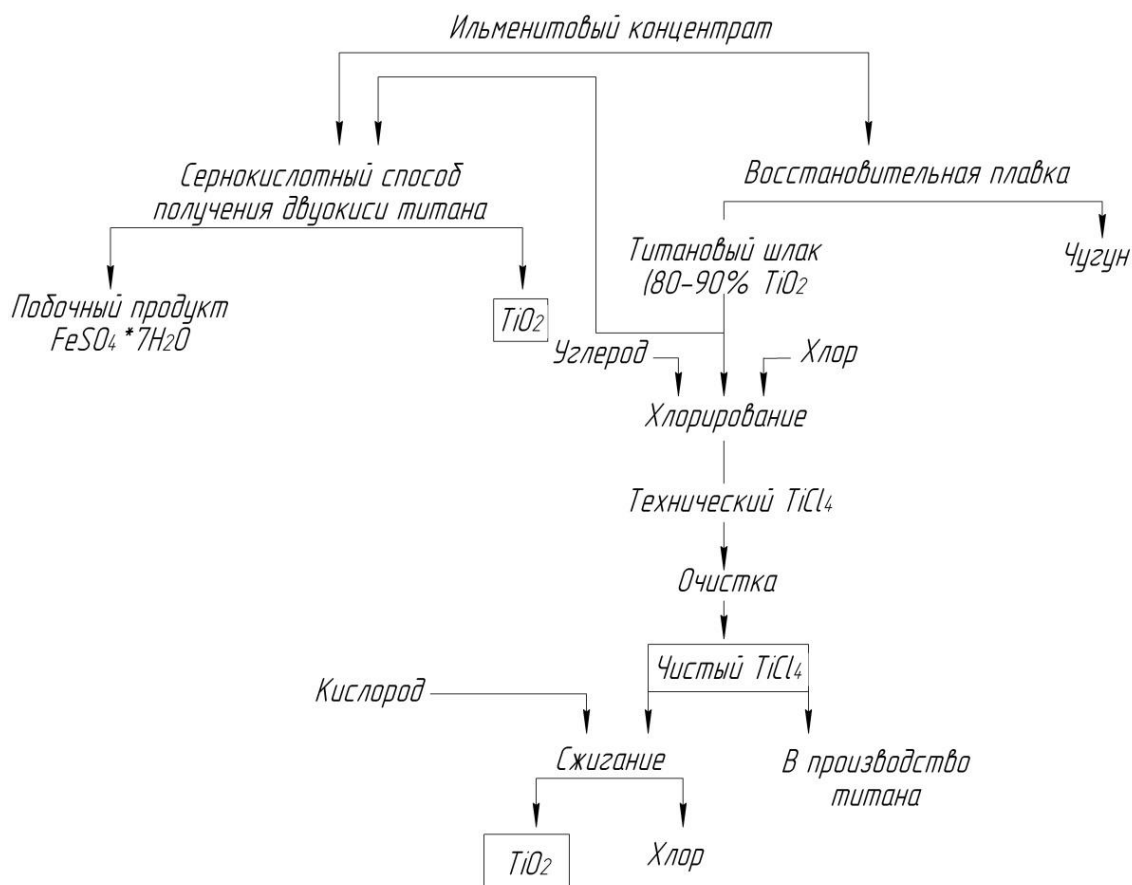
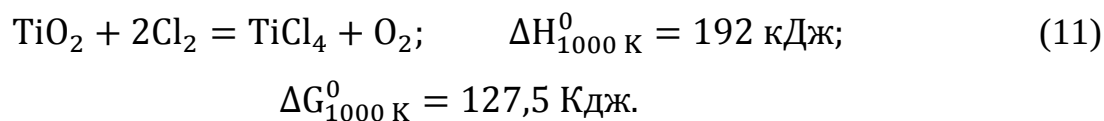


Рисунок 5 – Общая схема производства тетрахлорида титана и вариантов получения диоксида титана из ильменитового концентрата

Диоксид титана взаимодействует с хлором по эндотермической реакции:

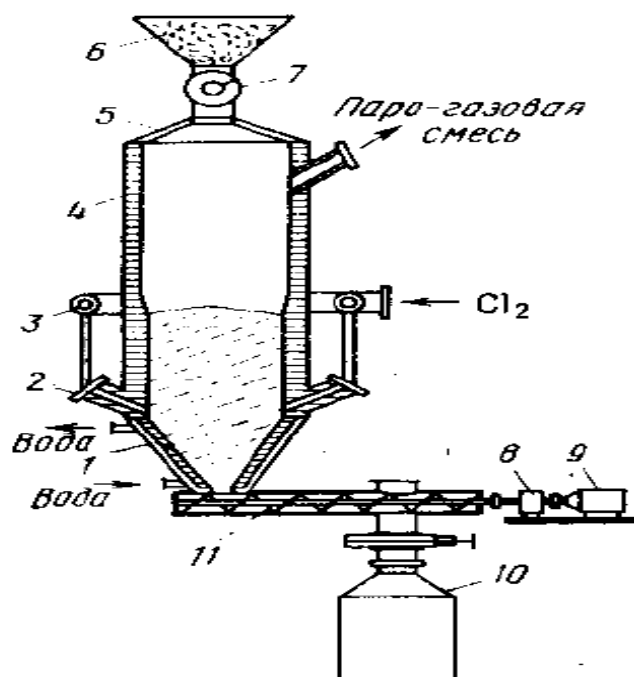


При одинаковой температуре и крупности частиц скорость хлорирования титановых шлаков, полученных в процессе выплавки из ильменита выше, чем рутиловых концентратов. Это объясняется тем, что в составе шлаков содержится низшие оксиды титана, которые активно реагируют с хлором при температурах от 300 до 400 °С даже при отсутствии углерода. В производственной практике применяют три способа хлорирования титансодержащих материалов:

- 1) хлорирование брикетированной шихты;
- 2) хлорирование в солевом расплаве;
- 3) хлорирование в кипящем слое.

Рассмотрим один способ применяемый на Российских предприятиях для хлорирования титановых шлаков.

Хлорирование брикетированной шихты. Брикеты шихты хлорируют в шахтном хлораторе непрерывного действия. Для приготовления брикетов компоненты шихты смешивают и к смеси добавляют связку каменноугольный или нефтяной пек. Далее смесь прессуют на вальцовых прессах в брикеты и прокаливают без доступа воздуха при температуре около 950 °С. На рисунке 6 приведен эскиз шахтного хлоратора непрерывного действия.



1 - водоохлаждаемый конус; 2 - фурма; 3 - хлорный коллектор; 4 - корпус хлоратора; 5 - водоохлаждаемый свод; 6 - бункер; 7 - золотниковый питатель; 8 - редуктор; 9 - электронагреватель; 10 - сборник огарка; 11 - разгрузочный шнек

Рисунок 6 – Шахтный хлоратор непрерывного действия

Удельная производительность шахтных хлораторов непрерывного действия при температурах хлорирования от 900 до 1000 °С равна 1,8-2 т TiCl_4 на 1 м³ объема хлоратора. Недостаток хлорирования брикетированной шихты – это высокие затраты на приготовление брикетов, что повышает на 10-15 % себестоимость хлорида [2, с.89].

Полученный тетрахлорид титана отправляется на восстановление магнием. Схема производства титана магниетермическим восстановлением тетрахлорида титана показана на рисунке 7.

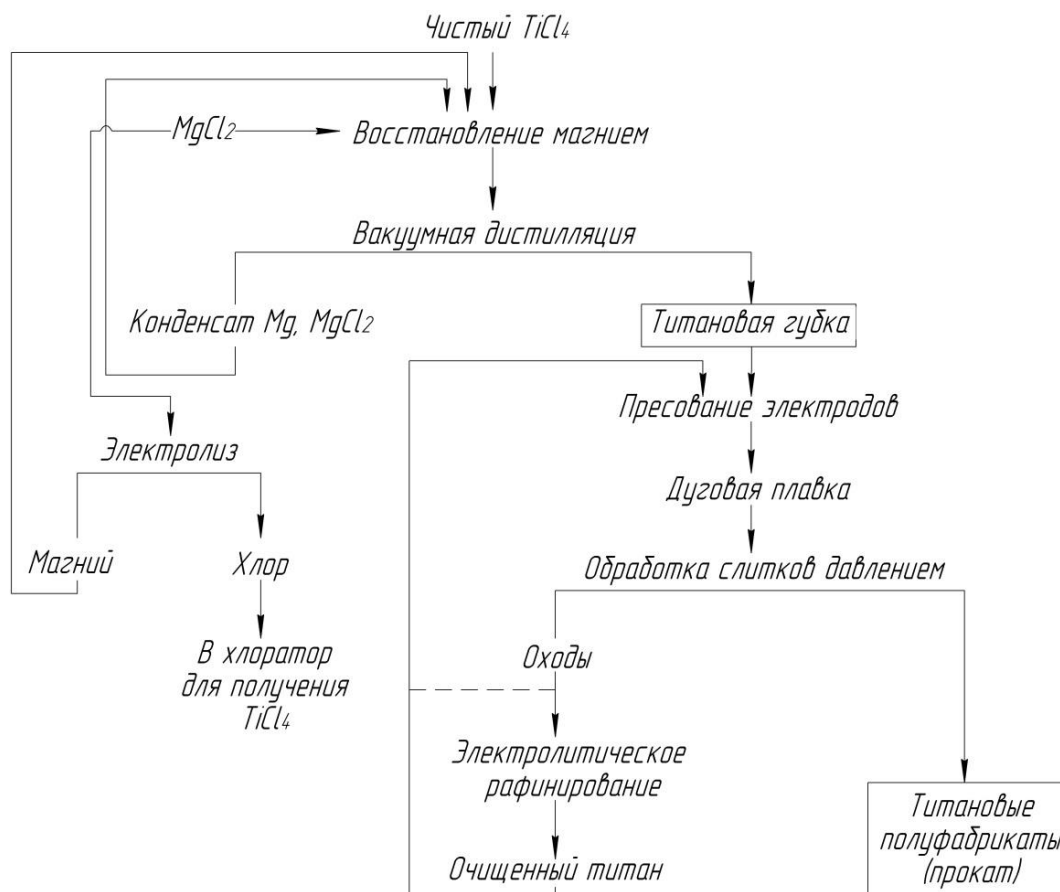
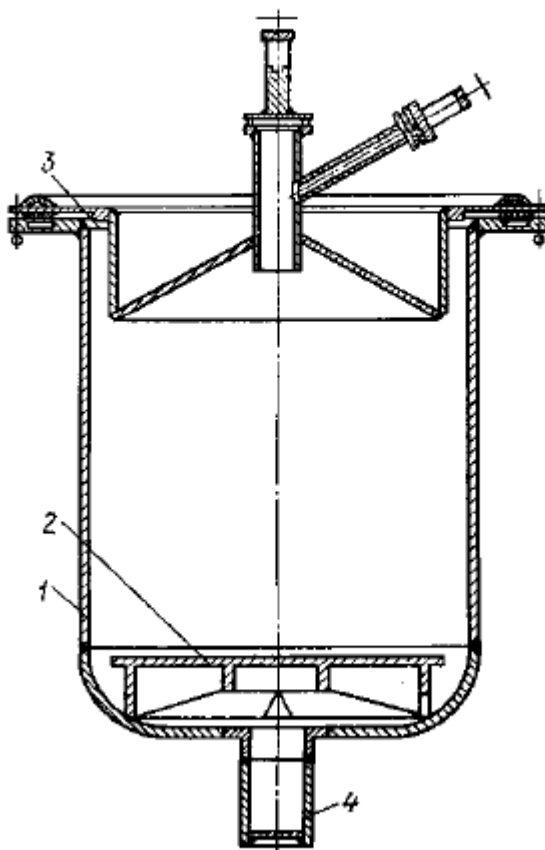


Рисунок 7 – Схема производства губчатого титана магниетермическим восстановлением тетрахлорида титана

Тетрахлорид титана восстанавливают магнием в стальных герметичных аппаратах (рисунок 8), заполненных инертным газом. В аппарат предварительно заливается магний, и с определенной скоростью подается жидкий тетрахлорид титана пары которого вступают в реакцию с жидким и парообразным магнием при этом титан восстанавливается до металла. Так как реакция восстановления TiCl_4 магнием экзотермическая, процесс ведут без подведения тепла извне.



1- корпус; 2 – ложное днище; 3- крышка с устройством для загрузки Mg , $TiCl_4$ и создания инертной атмосферы; 4- сливное устройство.

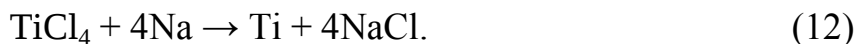
Рисунок 8 – Реактор для восстановления $TiCl_4$ магнием

Полученную реакционную массу, содержащую 55-65 % Ti , 25-35 % Mg , 9-12 % $MgCl_2$ отправляют на вакуумную дистилляцию для отделения магния и $MgCl_2$ от титановой губки. Качество полученной титановой губки сорта ТГ-100 Российского производства характеризуется следующими максимально допустимым содержанием примесей Fe 0,07; H 0,02; C 0,03; Si 0,04; O 0,04 %.

1.4 HUNTER-процесс

Данный процесс аналогичен Kroll-процессу. Отличие состоит в том, что восстановление тетрахлорида титана проводят натрием. Также в отличие от Kroll-процесса восстановление проводят при небольшом избытке $TiCl_4$. Реторту

нагревают до ~900 °С и в реторту медленно подают TiCl_4 , который взаимодействует с натрием по реакции:

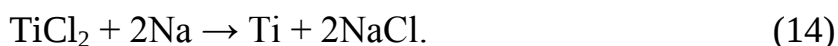


По окончании процесса в реторте находится смесь NaCl с титаном в соотношении 4:1 соответственно. Из-за этого реторта в Hunter-процессе должна быть значительно больше, чтобы получить такое же количество титана, как и при проведении Kroll-процесса. Далее от смеси отмывают NaCl раствором соляной кислоты. Образовавшийся в процессе отмывки раствор хлорида натрия не перерабатывают, поэтому приходится постоянно покупать металлический натрий для проведения процесса восстановления.

Также существует двух стадийный процесс восстановления TiCl_4 натрием. На первой стадии, TiCl_4 взаимодействует с расплавом Na в смесителе, с образованием TiCl_2 при 200 °С по реакции:



Затем смесь нагревают до 1000 °С в реторте в которой находится расплав натрия в количестве достаточном для завершения процесса.



В этом процессе первая стадия – непрерывный процесс, вторая – промышленное полунепрерывное производство, поэтому, весь процесс – серийное производство.

Схема 2-х стадийного Hunter-процесса показана на рисунке 9 [5].

В реактор непрерывного восстановления подают TiCl_4 очищенный методом ректификации, в котором он взаимодействует с металлическим натрием с образованием TiCl_2 и NaCl . Хлорид натрия и хлорид титана(II), находящийся в виде расплава свободно перетекают в емкость для спекания. В емкости для спекания находится большее количество натрия, чем в реакторе восстановления за счет этого TiCl_2 и Na взаимодействуют в реакторе спекания до достижения полного стехиометрического восстановления TiCl_2 металлическим натрием.

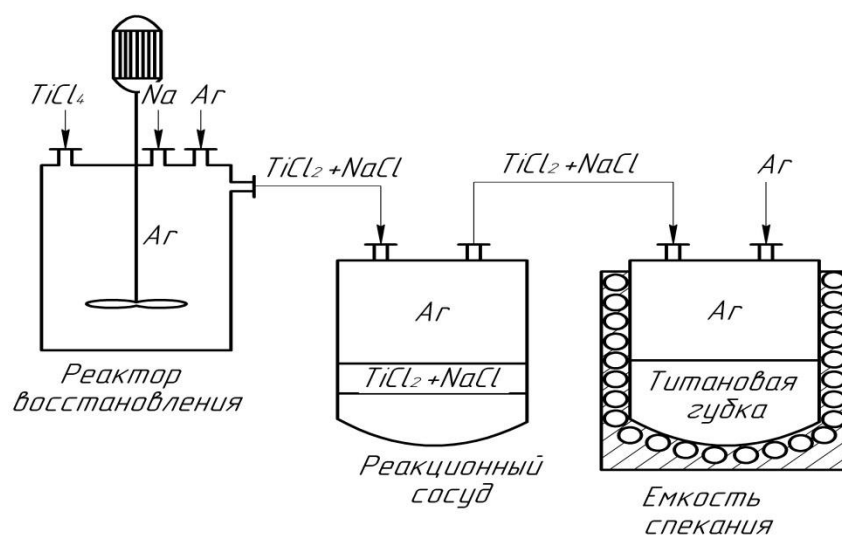


Рисунок 9 – Схема 2-х стадийного Hunter-процесса

Реакция (14) протекает в сосуде при температуре ниже 1038 °С. По мере образования титана он собирается в виде отдельных частиц, которые в дальнейшем образуют титановую губку. Волокна титановой губки имеют округлую форму в перекрестных секциях и сглаженную поверхность. Поскольку губка формируется в реторте реактора, она выдавливает расплав образующихся солей из синтезирующейся губки. После охлаждения титановая губка окружена и покрыта хлоридом натрия. Хлорид натрия отделяют от реторты пневматическим молотком, дробят до крупности 3/8” и передают на отмывку разбавленной соляной кислотой.

Главные преимущества процесса восстановления натрием перед восстановлением магнием состоят в том, что им можно управлять за счет двухступенчатой реакции, а продукт можно получать в виде губки или больших кристаллов. Первую стадию восстановления $TiCl_4$ можно проводить непрерывно, подавая $TiCl_4$ и жидкий натрий в реактор с перемешиванием, в котором образуется смесь $TiCl_2$ - $NaCl$. На второй стадии, которая возможно будет непрерывной, добавляют оставшийся натрий, происходит восстановление титана до металла. Другое преимущество – контроль размеров образующихся кристаллов металла и возможно уменьшение окисления хлорид-ионом.

В таблице 1 проведено сравнение Kroll- и Hunter процессов [5].

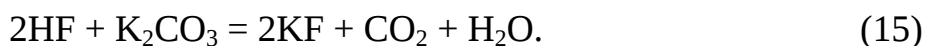
Таблица 1 - Сравнение Kroll- и Hunter процессов

Kroll	Hunter
Производство партий продукции	Производство партий продукции или непрерывный процесс, производящий партии продукции
Избыток магния 15–50 %	Небольшой избыток TiCl_4
Незначительная очистка продукта	10 %-ная очистка продукта
Трудно измельчаемый продукт	Легко измельчаемый продукт
Значительное загрязнение железом со стенок реторты	Незначительное загрязнение железом со стенок реторты
Титановую губку выщелачивают (отмывают) или подвергают вакуумной дистилляции	Титановую губку только выщелачивают (отмывают)
В реторте после восстановления остается только титановая губка	В реторте остается смесь 4М NaCl на 1 М титана
Расход энергии на 1/3 меньше при восстановлении магнием, чем при восстановлении натрием	

1.5 Фторидно-хлоридная технология получения титана

Фторидно-хлоридная технология разрабатывается в Томском политехническом университете. Фторидно-хлоридная технология это электролитическое восстановление металлического титана разложением диоксида титана в расплаве следующего состава: KF, KCl, K_2TiF_6 , TiO_2 .

Первым компонентом исходной смеси является KF. Безводный KF представляет собой бесцветный кристалл. Имеет плотность $2,48 \text{ г/см}^3$. Температура плавления 857°C , температура кипения составляет $1500 \pm 3^\circ\text{C}$. Получают KF по следующей реакции:



Чистый фторид калия гигроскопичен и чаще всего представлен в виде гидрата $\text{KF} \cdot n\text{H}_2\text{O}$. Во фторидно-хлоридной технологии кристаллогидрат фтористого калия не применяется, так как в систему попадает ионы кислорода, которые увеличивают скорость коррозии материалов реактора, и загрязняют

получаемый порошок металла кислородом. Поэтому, для приготовления электролита используют $\text{KF} \cdot \text{HF}$. Это снижает температуру плавления до $350\text{ }^{\circ}\text{C}$, и конечный продукт получается наиболее чистым.

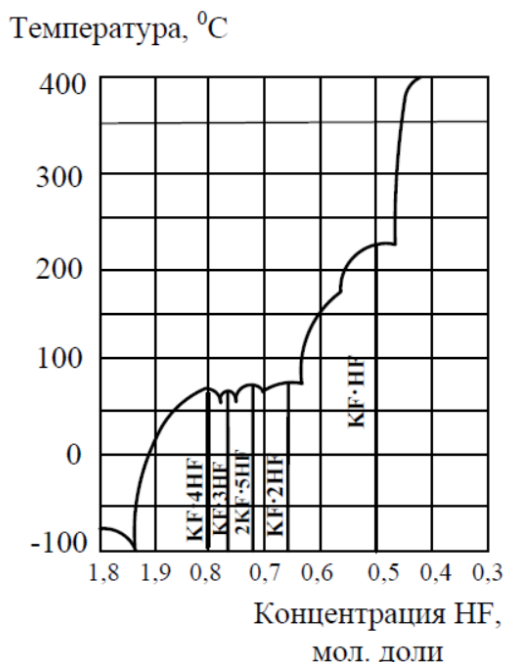


Рисунок 10 – Диаграмма состояния системы $\text{KF} \cdot \text{HF}$

Если рассматривать диаграмму состояния $\text{KF} \cdot \text{HF}$ [6], то видно, что при температуре выше $400\text{ }^{\circ}\text{C}$ происходит отщепление HF и в расплаве остается безводный KF . Выделяемый фтористый водород необходимо улавливать. Для улавливания HF применяется система колонн с различными наполнителями.

Вторым компонентом смеси является KCl . Хлорид калия – это бесцветный кристалл, с плотностью $1,99\text{ г/см}^3$ и температурой плавления $770\text{ }^{\circ}\text{C}$, а кипения $1407\text{ }^{\circ}\text{C}$. При температуре выше температуры плавления образуется темно-синяя масса, которая придает синий оттенок всему электролиту.

Третий компонент исходной смеси – это гексафторотитанат калия. K_2TiF_6 представляет собой кристалл белого цвета, с температурой плавления $822\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Четвертый компонент смеси – это диоксид титана. Вещество белого цвета, с температурой плавления $1843\text{ }^{\circ}\text{C}$, не растворим в воде и кислотах.

Выбор электролита обусловлен несколькими причинами. Это невысокая температура плавления 643 °С и неизменность состава в ходе проведения процесса, а также высокий потенциал восстановления щелочных металлов на катоде [7]. Растворимость диоксида титана в фторидно-хлоридных расплавах гораздо выше, чем в хлоридных [8].

Для определения растворимости TiO_2 был использован метод изотермического насыщения с визуальным контролем, заключающийся в определении максимально возможного количества исследуемого вещества в расплаве при определенной температуре [9]. Температурный диапазон исследований составил 650-800 °С. Если при постоянном перемешивании расплава появляются нерастворимые кристаллы, то это свидетельствует о максимальном насыщении при этой температуре. Исследования по изучению растворимости проводились в платиновом тигле. Электролит готовили путем смешения предварительно осушенных компонентов в заданном соотношении. Порошок диоксида титана вносили в солевой расплав только после расплавления электролита. Интервал насыщения и отстаивания был подобран в ходе проведения опытов. Расплав выдерживали в печи в атмосфере аргона не менее часа при соответствующей температуре, периодически помешивая платиновой проволокой. Далее вносили навеску и перемешивали, визуально наблюдая за процессом растворения. Порция навески составляла не более 0,5 масс.%. от массы расплава. После добавки очередной порции TiO_2 , расплав выдерживался в печи 30 минут для растворения навески. Если было видно, что часть навески не растворилась, то за конечный результат принималось предыдущее значение внесенной общей массы диоксида титана. Полученные в ходе опытов данные приведены на рисунке 11.

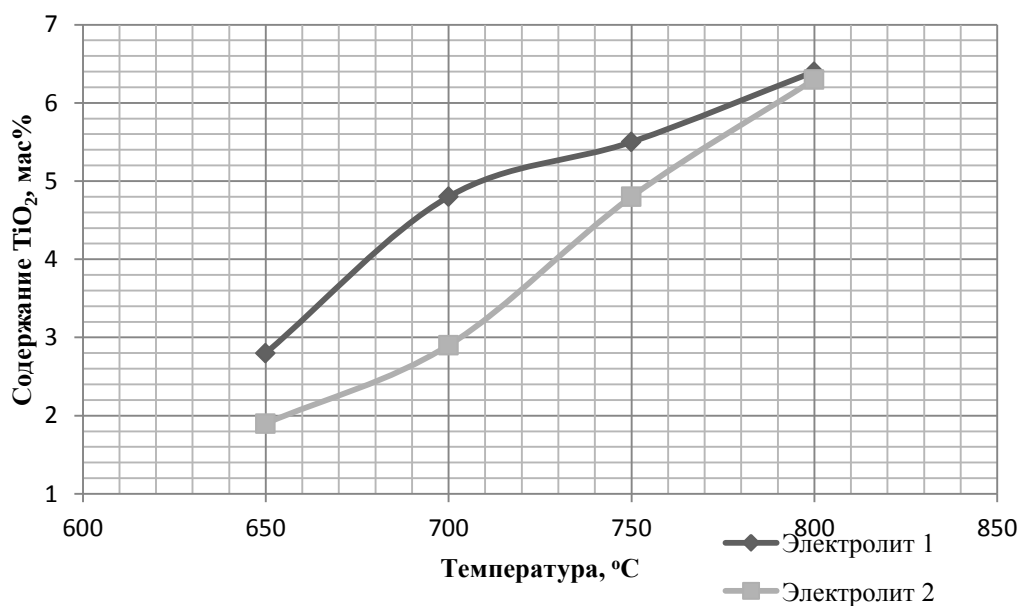


Рисунок 41 – Зависимость растворимости TiO_2 в электролитах от температуры (0,37KF-0,45KCl-0,18 K_2TiF_6 электродит 1; 0,36KF-0,43KCl-0,21 K_2TiF_6 электродит 2)

Был выбран следующий состав электролита 0,35М KF 0,47 М KCl 0,18 М K_2TiF_6 который соответствует точке c_3 на фазовой диаграмме (рисунок 11) с добавкой 5 масс.% TiO_2 .

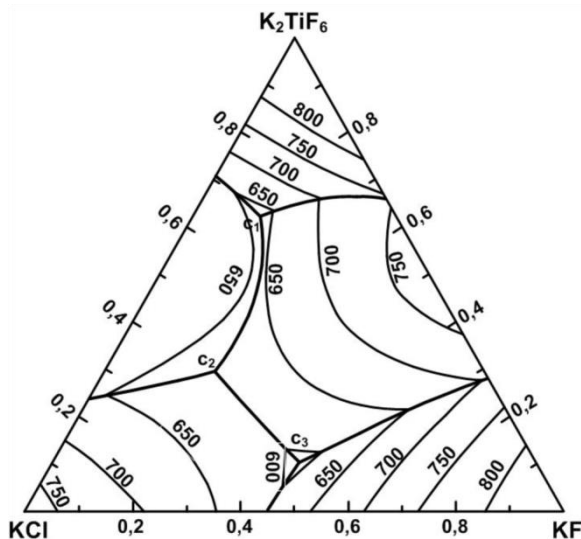


Рисунок 11 – Фазовая диаграмма системы KCl-KF- K_2TiF_6

Такое содержание диоксида титана в электролите позволяет вести промышленное проведение электролиза.

Во время проведения процесса в электролите происходит диссоциация:



Одновременно на катоде образуется металлический порошок титана: $\text{Ti}^{4+} + 4\text{e} = \text{Ti}^0$, а на аноде выделяются кислород: $2\text{O}^{2-} - 4\text{e} = \text{O}_2$.

После процесса электролиза катодный осадок направляется на отмывку от солей. Отмывка осуществляется разбавленными кислотами. Принципиальная блок схема фторидно-хлоридной технологии получения металлического титана представлена на рисунке 12.



Рисунок 12 – Принципиальная блок-схема фторидно-хлоридной технологии

2 Технологическая часть

2.1 Принципиальная блок-схема проведения электролиза

Данная технология основана на электролитическом восстановлении диоксида титана из фторидно-хлоридного расплава. Количество образующегося на катоде металлического титана будет зависеть от следующих факторов: плотность тока на катоде, температуры процесса и наличия примесей в исходном электролите.

В качестве электролита в данной технологии используется расплав $\text{KF} - \text{KCl} - \text{K}_2\text{TiF}_6$. Также в процессе электролиза требуется постоянная подпитка электролита свежим TiO_2 . Расплав готовится непосредственно перед процессом электролиза. И при необходимости производится корректировка расплава. Основными стадиями являются приготовление расплава, электролиз и удаление образовавшегося катодного осадка. Дополнительными стадиями считаются стадии улавливания, выделяющегося в процессе электролиза компонентов электролита и выделяющихся газов. Принципиальная блок-схема проведения электролиза представлена на рисунке 12.

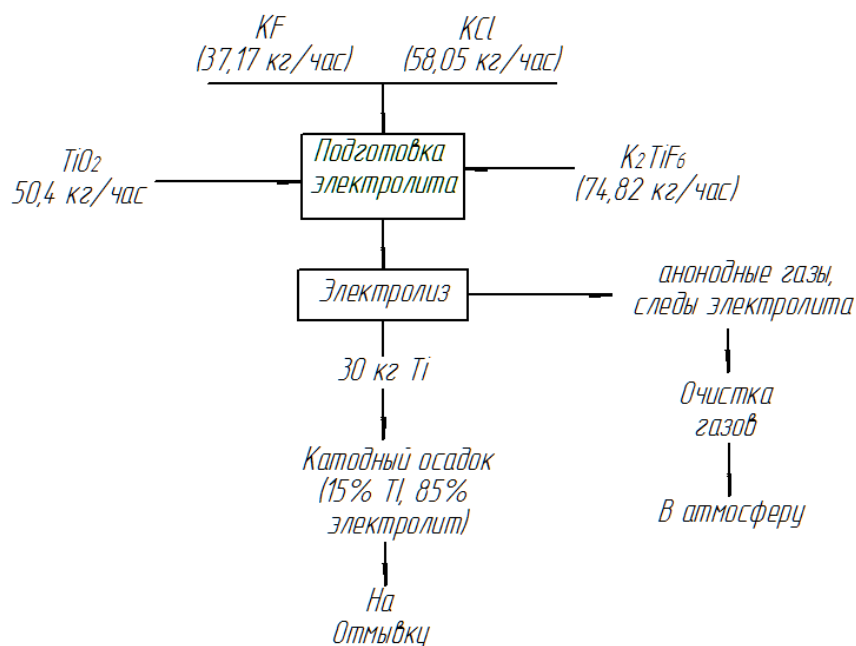
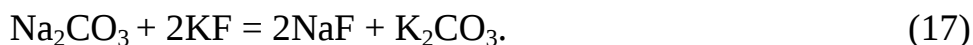


Рисунок 13 – Принципиальная блок-схема проведения электролиза

Заранее приготовленные компоненты электролита в виде расплава при температуре в 750°C поступают в электролизер где к ним добавляется 5 масс.% TiO₂. После чего проводят электролиз в течение 3 часов, постоянно доукрепляя электролит диоксидом титана, после чего катодный осадок срезается и отправляется на отмывку. Выделяемые во время электролиза анодные газы загрязнены следами электролита и диоксида титана.

Так как анодные газы загрязнены токсичными веществами, необходимо проводить улавливание следов электролита и диоксида титана. Улавливание проходит в два этапа. Сначала происходит улавливание основной части KF, потом улавливание следов KCl. На первой стадии основная часть KF растворяется в воде. Улавливание происходит при помощи раствора 3 – 5% Na₂CO₃:



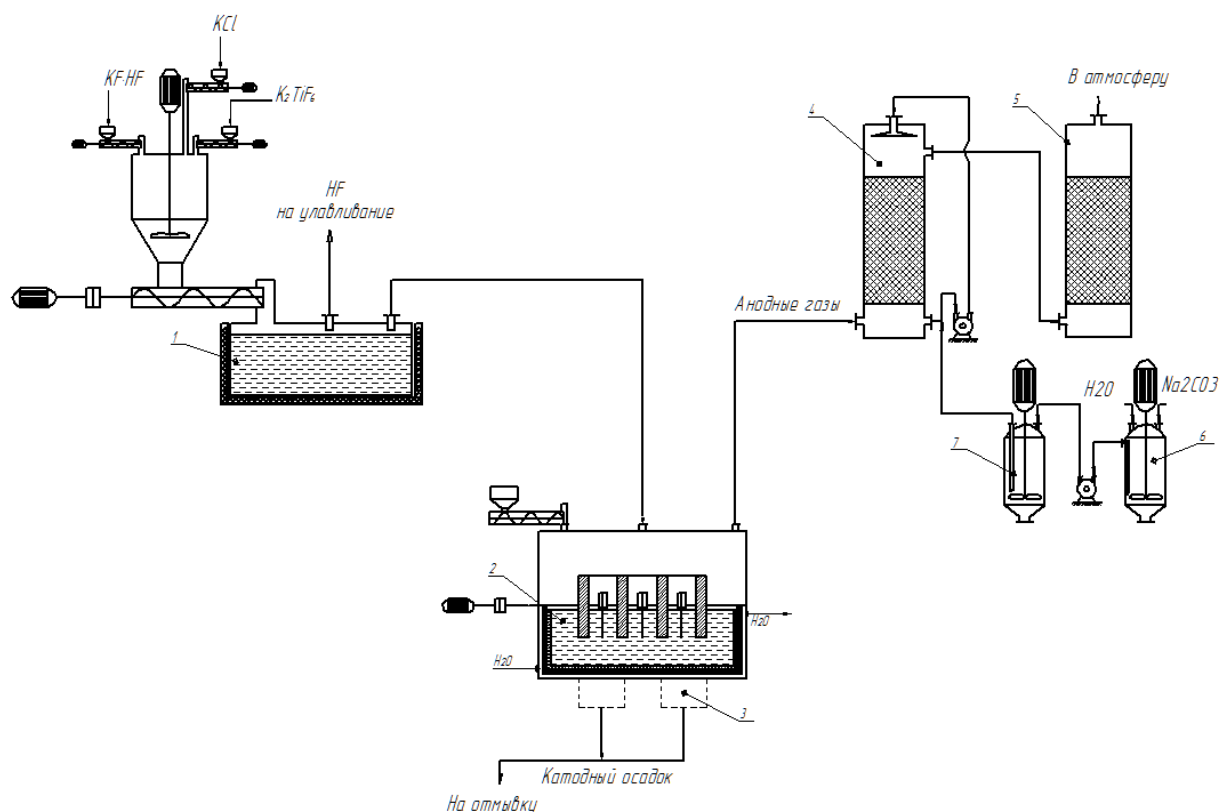
В результате улавливания образуется NaF. Через стадию фильтрации, фторид натрия отправляется на хранение. На втором этапе улавливания применяется смесь 3% NaOH и 97% Ca(OH)₂.



После второго этапа улавливается все следы электролита и диоксида титана. Полученные TiO₂, NaF и CaCl₂ отправляются на хранение.

2.2 Аппаратурно-технологическая схема

Для осуществления электролиза из фторидно-хлоридных расплавов, требуется: реактор приготовления готового электролита, электролизер, а также колонны улавливания следовых количеств электролита в отходящем газе. Данную схему можно представить следующим образом (см. рисунок 13).



- 1 - реактор плавления; 2 - электролизер; 3 - бункер разгрузки катодного осадка; 4 - колонна улавливания (с кольцами Рашига – Фторопласт 4); 5 - колонна улавливания (поглотитель ХПИИ – 3 % NaOH, 97 % Ca(OH)₂); 6 - реактор приготовления 5 % Na₂CO₃; 7 - реактор хранения Na₂CO₃.

Рисунок 13 – Технологическая схема процесса электролитического получения титана

Реактор плавления 1 представляет собой емкость в виде параллелепипеда. В верхней крышке имеется три патрубка, один используется для подачи исходных солей, другой для отвода газообразного HF и третий используется для вывода готового расплава из реактора в электролизер при помощи вакуумного ковша.

Электролизер 2 выполнен в форме коробчатой обечайки, изготовленной из углеродистой стали, в электролизере установлены 4 графитовых анода и 3 катода из нержавеющей стали подвод тока осуществляется медными шинами. Поддержание температуры в электролизере осуществляется при помощи двух графитовых электродов, расположенных у противоположных стенок, через которые пропускается переменное напряжение. Так как используемый

электролит является очень агрессивным при данных температурах, то для предотвращения коррозии аппарата используется слой гарнисажа создаваемый за счет охлаждения стенок реакторов рубашкой охлаждения. Электролиз проводится в течение 3 часов, после чего вал, на котором закреплены катоды, поворачивается и катодный осадок срезается ножами, установленными в бункере разгрузки катодного осадка 3, полученный катодный осадок отправляется на отмывку.

Выделяющийся в процессе электролиза кислород, вступает в реакцию с углеродом анода с образованием смеси CO_2 и CO , анодные газы загрязнены следами электролита и диоксида титана из-за чего их нельзя сразу сбрасывать в атмосферу. Поэтому они отправляется на очистку в специальные колонны с кольцами Рашига (4). Кольца представляют собой отрезки труб, внутри которых находятся различные по форме перегородки. Они предназначены для осуществления интенсивного массообмена. Обычно диаметр кольца равен его высоте и не превышает 50 мм. Можно использовать либо керамические кольца, либо стальные. В первой колонне происходит улавливание KF , колонна работает в связке с двумя реакторами: реактор для приготовления 5 % Na_2CO_3 (6) и реактор для сбора и хранения Na_2CO_3 (7). Реактор для приготовления карбоната натрия имеет вид аппарата с мешалкой. Он имеет конусное днище для удаления осадков примесей. В аппарат загружается вода и кристаллы Na_2CO_3 в определенной пропорции и осуществляется интенсивное перемешивание. С помощью насоса, приготовленный раствор перекачивается в реактор для сбора и хранения Na_2CO_3 , а в реактор приготовления загружается новая порция реагентов для приготовления раствора 5 % Na_2CO_3 . Реактор хранения идентичен реактору приготовления. Здесь также происходит перемешивание. Раствор из реактора хранения отправляется, с помощью насоса, в верхнюю часть колонны улавливания и происходит орошение колец Рашига. В процессе улавливания образуется NaF , который оседает на насадке (кольца Рашига) и остается в колонне до тех пор, пока не осуществится замена насадки. Оставшиеся следы хлорида калия улавливают с помощью второй

колонны (5) с насадкой в виде химического поглотителя известкового (ХПИ 3 % NaOH и 97 % Ca(OH)₂). В результате улавливания, образующиеся NaF и CaCl₂, остаются в колонне, а очищенные анодные газы отправляются в атмосферу.

2.3 Материальный баланс

Процесс протекающий в электролизе состоит в электролитическом разложении диоксида титана, растворенного в электролите.

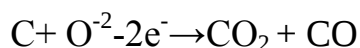


Положительно заряженные катионы титана присоединяют свободные электроны катода

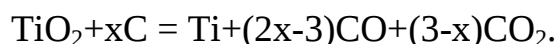


превращаются в нейтральные атомы и выделяются на катоде. По мере накопления титана на катоде он срезается с помощью гидронажа в герметичную емкость, заполненную аргоном.

При электролизе оксидов титана, растворенных в электролите на аноде протекает реакция:



Суммарная реакция



Выделяющийся кислород окисляет угольный анод до CO₂ и CO, эти газы и выделяются из под анода. Доля CO в газовой смеси CO и CO₂ определяется константой диспропорционирования [10].

Таким образом, теоретически на производство порошкообразного титана расходуется диоксид титана и углерод анода, электроэнергия для разложения диоксида титана и поддержания рабочей температуры в электролизере.

Практически расходуются соли, которые испаряются и удаляются из электролита вместе с катодным осадком.

Таблица 2 – Расходные коэффициенты

Наименование	Значение
Диоксид титана	1,680 кг/кг Ti
Фтортитанат калия	2,494 кг/кг Ti
Фторид калия	1,239 кг/кг Ti
Хлорид калия	1,935 кг/кг Ti
Плотность тока	3 А/см ²
Выход по току	84 %

Производительность электролизера

Производительность электролизера P_{Ti} , кг рассчитывается по закону Фарадея:

$$P_{Ti} = I \cdot g \cdot h_T \cdot 10^{-3}, \quad (21)$$

где I – сила тока в амперах;

g – 0,444 г/А·ч – электрохимический эквивалент Ti;

h_T – выход по току, доли единицы. (84 %)

Следовательно необходимая сила тока рассчитывается по формуле:

$$I = \frac{P_{Ti}}{g \cdot h_T \cdot 10^{-3}}, \quad (22)$$

$$I = \frac{30}{0,444 \cdot 0,84 \cdot 10^{-3}} = 97865 \text{ А.}$$

Расчёт прихода сырья в электролизёр

Начальное содержание TiO_2 в электролите составляет 5 %. В процессе электролиза концентрация TiO_2 падает до 3,48 %. Расходуемые 1,52 % в час составляют 50 кг Ti. Тогда общая масса TiO_2 в электролите будет равна:

$$50 \text{ кг} - 1,52 \%$$

$$P_{TiO_2} - 5 \%$$

$$P_{TiO_2} = \frac{50 \cdot 5}{1,52} = 165,15 \text{ кг.}$$

Отсюда найдем расход электролита:

$$165,15 - 5 \%$$

$$P_{эл} - 100 \%$$

$$P_{эл} = \frac{165,15 \cdot 100}{5} = 3303 \text{ кг.}$$

Расчёт прихода сырья в электролизер рассчитывается в соответствии с расходными коэффициентами по формуле:

$$P_x = p_x \cdot P_{Ti}, \quad (23)$$

где p_x – расходный коэффициент

$$P_{TiO_2*} = 1.680 \cdot 30 = 50,4 \text{ кг/ч} - \text{диоксида титана};$$

$$P_{K_2TiF_6} = 2.434 \cdot 30 = 74,82 \text{ кг/ч} - \text{фтортитаната калия};$$

$$P_{KF} = 1.239 \cdot 30 = 37,17 \text{ кг/ч} - \text{фторида калия};$$

$$P_{KCl} = 1.935 \cdot 30 = 58,08 \text{ кг/ч} - \text{хлорида калия};$$

Расход материалов

1) Титан. Количество полученного в результате электролиза титана определяется производительностью электролизёра P_{Ti} , кг/ч.

2) Анодные газы. Для расчета количества углерода, который окисляется кислородом, выделяющимся в результате электролитического разложения диоксида титана, принимаем состав анодных газов, % (объемн.): CO_2 60 и CO 40.

При получении 30 кг титана выделится кислорода:

$$m_{O_2} = \frac{30 \cdot 32}{48} = 20 \text{ кг}, \quad (24)$$

где 32 и 48 соответственно количество кислорода и титана в диоксиде.

Отсюда, в состав CO_2 и CO перейдет:

$$m_{O_2 \text{ в } CO_2} = \frac{20 \cdot 2 \cdot 60}{2 \cdot 60 + 40} = 15 \text{ кг},$$

$$m_{O_2 \text{ в } CO} = \frac{20 \cdot 40}{2 \cdot 60 + 40} = 5 \text{ кг}$$

Отсюда можно рассчитать количество углерода, связанного в CO_2 и CO :

$$m_{C \text{ в } CO_2} = \frac{15 \cdot 12}{16 \cdot 2} = 5,625 \text{ кг},$$

$$m_{C \text{ в } CO} = \frac{5 \cdot 12}{16} = 3,75 \text{ кг.}$$

Таким образом, при получении 30 кг титана в час выделяется:

$$P_{CO_2} = 15 + 5,625 = 20,625 \text{ кг/ч;} \quad (25)$$

$$P_{CO} = 5 + 3,75 = 8,75 \text{ кг/ч.} \quad (26)$$

Потери углерода с летучими погонями каменноугольного пека, угольной пеной и т.д. определяются как разность между приходом анодной массы и количеством, израсходованного с газами углерода $m_{C \text{ в } CO_2}$ и $m_{C \text{ в } CO}$:

$$\Delta P_C = 290,7 - (5,625 + 3,75) = 281,325 \text{ кг/час}$$

3) Потери диоксида титана в виде пыли и механические потери принимаются как разность между приходом диоксида титана в электролизёр и теоретическим расходом диоксида титана.

Теоретический расход диоксида титана в час определим по реакции:



Выразим из реакции через пропорцию расход диоксида и получим:

$$P_{TiO_2} = \frac{P_{Ti} \cdot M_{TiO_2}}{M_{Ti}}, \quad (28)$$

где P_{TiO_2} – теоретический расход диоксида титана, *кг/час*;

P_{Ti} – часовая производительность электролизера, *кг/час*;

M_{TiO_2} – молекулярный вес диоксида титана, *г/моль*;

M_{Ti} – молекулярный вес титана в диоксиде титана, *г/моль*.

$$P_{TiO_2} = \frac{30 \cdot 80}{48} = 50$$

Разница между практическим теоретическим расходом обуславливается наличием примесей в диоксиде титана и механическими потерями при транспортировке и загрузке диоксида титана в ванну.

Величина потерь диоксида титана составит:

$$\Delta P_{TiO_2} = |50,4 - 50| = 0,4 \text{ кг/час}$$

4) Электролит расходуется в процессе осуществления электродных реакций, но удаляется из электролита вместе с катодным осадком, в соответствии с расходными коэффициентами, принимают равными приходу солей.

Таблица 3 – Материальный баланс часа работы электролизера

Приход	кг/час	%	Расход	кг/час	%
Корректировка:	220,44	5,54	Катодный осадок в т.ч.:	200,04	5,03
Диоксид титана	50,4	1,27	Титан	30	0,75
Фтортитанат калия	74,82	1,88	Фтортитанат калия	74,82	1,88
Фторид калия	37,17	0,93	Фторид калия	37,17	0,93
Хлорид калия	58,05	1,46	Хлорид калия	58,05	1,46
Электролит в т.ч.:	3468,15	87,15	Анодные газы в т.ч.:	29,775	0,75
Фтортитанат калия	1453,27	36,52	CO ₂	20,625	0,52
Фторид калия	1127,80	28,34	CO	8,75	0,22
Хлорид калия	721,93	18,14	Диоксид титана	0,4	0,01
Диоксид титана	165,15	4,15	Оставшийся электролит и анод:		
Анодная масса	290,7	7,31	Анодная масса	281,325	7,07
			Электролит	3468,15	87,15
Итого	3979,29	100	Итого	3979,29	100

Зная массу электролита можно рассчитать его объем, плотность электролита 2064 кг/м³.

$$V_3 = \frac{3468,15}{2064} = 1,68 \text{ м}^3.$$

2.4 Тепловой баланс электролизёра

Нормальная работа электролизёра возможна только при соблюдении теплового равновесия, когда приход и расход тепла в единицу времени при установившемся режиме электролиза становятся равными. Приход тепла в электролизёр осуществляется от прохождения постоянного электрического тока и от сгорания анодной массы.

Тепловой баланс составляют применительно к определённой температуре: окружающей среды или температуре протекания процесса [11].

Таблица 5 – Термодинамические свойства веществ

Вещество	C_{298}^0 , Дж/(К·моль)	C_{1023}^0 , Дж/(К·моль)
TiO ₂	56,44	56,44
Ti	24,43	32,36
K ₂ TiF ₆	350,00	350
KCl	51,49	63,94
KF	49,03	59,49
CO ₂	37,13	52,94
CO	29,11	32,56
H ₂ O	75,299	-

В этом случае уравнение теплового баланса можно представить в виде:

$$Q_{эл} + Q_{ан} + Q_{дог} + Q_{эл-та} + Q_{TiO_2} + Q_{K_2TiF_6} + Q_{KF} + Q_{KCl} = Q_{разл} + Q_{эл-та} + Q_{Ti} + Q_{газ} + Q_{K_2TiF_6*} + Q_{KF*} + Q_{KCl*} + Q_{охл} + Q_{п}, \quad (29)$$

где $Q_{эл}$ – приход тепла от электроэнергии, кДж/час;

$Q_{ан}$ – приход тепла от сгорания анода, кДж/час;

$Q_{эл-та}$ – тепло, вносимое и уносимое с электролитом, кДж/ч;

$Q_{дог}$ – приход тепла от догорания анодных газов, кДж/час;

Q_{TiO_2} – приход тепла с вносимым диоксидом титана, кДж/час;

$Q_{K_2TiF_6}$ – приход тепла с вносимым фтортитанатом титана, кДж/час;

Q_{KF} – приход тепла с вносимым фторидом калия, кДж/час;

Q_{KCl} – приход тепла с вносимым хлоридом калия, кДж/час;

Q_{Ti} – тепло, уносимое вместе со срезаемым металлом, кДж/час;

$Q_{газ}$ – тепло, уносимое вместе с анодными газами, кДж/час;

$Q_{K_2TiF_6^*}$ – тепло, уносимое вместе с фтортитанатом калия, кДж/час;

Q_{KF^*} – тепло, уносимое вместе с фторидом калия, кДж/час;

Q_{KCl^*} – тепло, уносимое вместе с хлоридом калия, кДж/час;

$Q_{охл}$ – тепло, затрачиваемое на нагрев воды, кДж/час;

$Q_{п}$ – потери тепла в окружающее пространство, кДж/час.

Приходная часть баланса

Приход тепла от прохождения электрического тока $Q_{эл}$, кДж определяется по уравнению [12]:

$$Q_{эл} = 3600 \cdot I \cdot U_э \cdot \tau, \quad (30)$$

где 3600 – тепловой эквивалент 1 кВт·ч,;

I – сила тока, кА;

$U_э$ – напряжение электролизёра, В

τ – время, часы

$$Q_{эл} = 3600 \cdot 97,865 \cdot 4,5 \cdot 1 = 1585413 \text{ кДж/ч.}$$

Определим приход тепла от сгорания анода:

$$Q_{ан} = p_{CO_2} \cdot \Delta H_{T_1}^{CO_2} + p_{CO} \cdot \Delta H_{T_1}^{CO} \quad (31)$$

где p_{CO_2}, p_{CO} – число киломолей CO_2 и CO соответственно, кмоль/час;

$\Delta H_{T_1}^{CO_2}, \Delta H_{T_1}^{CO}$ – тепловые эффекты реакция образования CO_2 и CO соответственно из углерода и кислорода, кДж/моль.

T_1 – температура окружающей среды ($T_1 = 25^\circ C$), $^\circ C$.

Число киломолей CO_2 и CO определим по формулам:

$$p_{CO_2} = 18,657 \cdot 10^{-6} \cdot I \cdot \eta \cdot \frac{m}{1+m}, \quad (32)$$

$$p_{CO} = 18,657 \cdot 10^{-6} \cdot I \cdot \eta \cdot \frac{1-m}{1+m}, \quad (33)$$

где I – сила тока на электролизере, А;

η – выход по току, доли единицы;

m – объемная доля CO_2 в анодных газах $m = 0,6$ (60 %).

$$p_{CO_2} = 18,657 \cdot 10^{-6} \cdot 97865 \cdot 0,84 \cdot \frac{0,6}{1+0,6} = 0,575 \text{ кмоль;}$$

$$p_{CO} = 18,657 \cdot 10^{-6} \cdot 97865 \cdot 0,84 \cdot \frac{1 - 0,6}{1 + 0,6} = 0,383 \text{ кмоль.}$$

Тепловые эффекты образования диоксида и оксида углерода при 25°C:

$$\Delta H_{298}^{CO_2} = 394070 \text{ кДж/моль}, \Delta H_{298}^{CO} = 110616 \text{ кДж/моль}.$$

Подставляя найденные значения в уравнение, определяем приход тепла от сгорания угольного анода:

$$Q_{ан} = 394070 \cdot 0,575 + 110616 \cdot 0,383 = 269062 \text{ кДж/час.}$$

Догорание СО на выходе из электролита идёт по реакции:



На догорание идёт 25 % от количества выделившегося СО.

$$Q_{дог} = 0,25 \cdot p_{CO} \cdot (\Delta H_{T_1}^{CO_2} - \Delta H_{T_1}^{CO}) \quad (34)$$

$$Q_{дог} = 0,25 \cdot 0,383 \cdot (394070 - 110616) = 27171 \text{ кДж/час.}$$

Приход тепла, вносимый солями, рассчитывается по формуле:

$$C_a = \frac{P_A \cdot C_{PA} \cdot t_A}{M}, \quad (35)$$

где Р— масса вещества, подаваемая в единицу времени, кг/ч;

Ср — теплоемкость вещества, Дж/(моль·К);

t — температура вещества, К;

М — молекулярная масса вещества, г/моль.

Приход тепла вносимое электролитом, равно теплу, уносимому с электролитом:

$$Q_{эл-та} = \frac{1453,27 \cdot 350 \cdot 1023}{240} + \frac{1127,8 \cdot 59,49 \cdot 1023}{58} + \frac{721,93 \cdot 63,94 \cdot 1023}{74,5} = 3985416,9 \text{ кДж/ч}$$

Приход тепла с вносимым диоксидом титана:

$$Q_{TiO_2} = \frac{50,4 \cdot 56,44 \cdot 298}{80} = 10596 \text{ кДж/ч.}$$

Приход тепла с вносимым фтортитанатом титана:

$$Q_{K_2TiF_6} = \frac{74,82 \cdot 350 \cdot 298}{240} = 32515,5 \text{ кДж/ч.}$$

Приход тепла с вносимым фторидом калия:

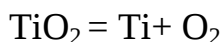
$$Q_{KF} = \frac{37,17 \cdot 49,03 \cdot 298}{58} = 9363,6 \text{ кДж/ч.}$$

Приход тепла с вносимым фторидом калия:

$$Q_{KCl} = \frac{58,05 \cdot 51,49 \cdot 298}{74,5} = 11956,1 \text{ кДж/ч.}$$

Расходная часть баланса

Определим расход тепла на разложение TiO_2 по реакции:



$$Q_{\text{разл}} = P_{TiO_2} \cdot \Delta H_T^{TiO_2}, \quad (36)$$

где P_{TiO_2} – расход диоксида титана на электрохимическое разложение, кмоль/час;

$\Delta H_T^{TiO_2}$ – тепловой эффект реакции образования TiO_2 при температуре 25 °С $\Delta H_T^{TiO_2} = 943900 \text{ кДж/кмоль}$), кДж/кмоль.

Расход диоксида титана на электрохимическое разложение:

$$P_{TiO_2} = \frac{I \cdot \eta \cdot 10^{-3}}{6 \cdot F}, \quad (37)$$

где I – сила тока на электролизере, А;

η – выход по току, доли единицы;

F – число фарадея равное 26,8 А·ч.

$$P_{TiO_2} = \frac{93844 \cdot 0,84 \cdot 10^{-3}}{6 \cdot 26,8} = 0,49 \text{ кмоль/час;}$$

$$Q_{\text{разл}} = 0,49 \cdot 943900 = 462511 \text{ кДж/ч.}$$

Определим потери тепла с отходящими газами.

Расчет уноса тепла газами ведем на основе основных компонентов анодных газов – окиси и двуокиси углерода. Температуру отходящих газов принимаем равной 550 °С. Энтальпию составляющих отходящих газов находим по справочным данным.

Тогда потери тепла с отходящими газами составят:

$$Q_{\text{газ}} = P_{CO_2} \cdot (\Delta H_{CO_2}^{823} - \Delta H_{CO_2}^{298}) + P_{CO} \cdot (\Delta H_{CO}^{823} - \Delta H_{CO}^{298}), \quad (38)$$

где P_{CO_2} , P_{CO} – число выделяющихся киломолей CO_2 и CO соответственно, кмоль/час;

$\Delta H_{CO_2}^{823}, \Delta H_{CO_2}^{298}$ – энтальпия двуокиси углерода соответственно при температурах 550 и 25 °С, кДж/кмоль;

$\Delta H_{CO}^{823}, \Delta H_{CO}^{298}$ – энтальпия окиси углерода соответственно при температурах 550 и 25 °С, кДж/кмоль.

По справочным данным принимаем [10]:

$$\Delta H_{CO_2}^{823} = 40488 \text{ кДж/кмоль}, \Delta H_{CO_2}^{298} = 16446 \text{ кДж/кмоль},$$

$$\Delta H_{CO}^{823} = 24860 \text{ кДж/кмоль}, \Delta H_{CO}^{298} = 8816 \text{ кДж/кмоль}.$$

$$Q_{\text{газ}} = 0,575 \cdot (40488 - 16446) + 0,383 \cdot (24860 - 8816) = 19979 \text{ кДж/ч}.$$

Тепло, уносимое вместе со срезаемым металлом

$$Q_{Ti} = \frac{30 \cdot 32,36 \cdot 1023}{48} = 20690 \text{ кДж/ч}.$$

Тепло, уносимое вместе с фтортитанатом калия:

$$Q_{K_2TiF_6*} = \frac{74,82 \cdot 350 \cdot 1023}{240} = 111622 \text{ кДж/ч}.$$

Тепло, уносимое вместе с фторидом калия

$$Q_{KF*} = \frac{37,17 \cdot 59,49 \cdot 1023}{58} = 39002 \text{ кДж/ч}.$$

Тепло, уносимое вместе с хлоридом калия:

$$Q_{KCl*} = \frac{58,05 \cdot 63,94 \cdot 1023}{74,5} = 50974 \text{ кДж/ч}.$$

Потери тепла в окружающие пространство составляют 10 % от тепла, пришедшего в электролизер

$$Q_{\Pi} = (Q_{\text{эл}} + Q_{\text{эл-та}} + Q_{\text{ан}} + Q_{\text{дог}} + Q_{TiO_2} + Q_{K_2TiF_6} + Q_{KF} + Q_{KCl}) \cdot 0,15, \quad (39)$$

$$Q_{\Pi} = (1585413 + 3985416 + 269062 + 27171 + 10596 + 32515 + 9553 + 11956) \cdot 0,1 = 593168 \text{ кДж/ч}$$

Тепло затрачиваемое на нагрев воды определяются по разности между приходом тепла и расходом по рассчитанным статьям:

$$Q_{\text{охл}} = (Q_{\text{эл}} + Q_{\text{эл-та}} + Q_{\text{ан}} + Q_{\text{дог}} + Q_{\text{TiO}_2} + Q_{\text{K}_2\text{TiF}_6} + Q_{\text{KF}} + Q_{\text{KCl}}) - (Q_{\text{рах}} + Q_{\text{эл-та}} + Q_{\text{газ}} + Q_{\text{Ti}} + Q_{\text{п}} + Q_{\text{K}_2\text{TiF}_6^*} + Q_{\text{KF}^*} + Q_{\text{KCl}^*}), \quad (40)$$

$$Q_{\text{охл}} = (1585413 + 3985416 + 269062 + 27171 + 10596 + 32515 + 9553 + 11956) - (462511 + 3985416 + 20690 + 19979 + 111622 + 39002 + 50974 + 593168) = 648320 \text{ кДж/ч.}$$

Таблица 6 – Тепловой баланс электролизера

Приход тепла	кДж/ч	%	Расход тепла	кДж/ч	%
Приход тепла с электролитом	3985417	68,07	Унос тепла электролитом	3985416	68,07
Приход тепла с электроэнергией	1585413	27,08	Расход тепла на разложение диоксида титана	462511	7,90
Приход тепла от сгорания анода	269062	4,60	Тепло уносимое с отходящими газами	19979	0,34
Приход тепла от догорания анодных газов	27171	0,46	Унос тепла срезаемым титаном	20690	0,35
Приход тепла с диоксидом титана	10596	0,18	Тепло уносимое с фтортитанатом калия	111622	1,91
Приход тепла с фтортитанатом калия	32516	0,56	Тепло уносимое с фторидом калия	39002	0,67
Приход тепла с фторидом калия	9553	0,16	Тепло уносимое с хлоридом калия	50974	0,87
Приход тепла с хлоридом калия	11956	0,20	Тепло затрачиваемое на нагрев воды	648320	11,07
			Потери тепла в окружающую среду	593168	10,13
Итого	5931684	100	Итого	5931684	100

Зная тепло затрачиваемое на нагрев воды можно узнать расход воды [13]:

$$Q_{\text{охл}} = \frac{C_P^{H_2O} \cdot P_{H_2O} \cdot \Delta t}{M}, \quad (41)$$

$$\text{отсюда } P_{H_2O} = \frac{Q_{\text{охл}} \cdot M}{C_P^{H_2O} \cdot \Delta t} = \frac{648320 \cdot 18}{75,299 \cdot 40} = 3099,58 \text{ кг/ч.}$$

3 Аппаратный расчет

3.1 Расчет количества ванн

Исходные данные для расчета представлены в таблице 7.

Таблица 7 – Исходные данные

Производительность G, кг/час	30
Выход по току %,	84
Плотность катодного тока i_k , А/см ²	3
Плотность анодного тока i_a , А/см ²	0,75

Для расчета установки электролитического осаждения металла необходимо рассчитать суммарную силу тока всех ванн которую нужно затратить в течение часа [14].

$$\sum I = \frac{P \cdot 10^6}{300 \cdot 24 \cdot g \cdot \eta} \text{ А} \cdot \text{час/час}, \quad (42)$$

где P – годовая производительность цеха, т;

g – электрохимический эквивалент, (0,444 г/А·час) г/А·час;

η – коэффициент выхода по току.

$$\sum I = \frac{262,8 \cdot 10^6}{300 \cdot 24 \cdot 0,444 \cdot 0,84} = 97866 \text{ А} \cdot \text{час/час}.$$

Для расчета количества ванн зададим силу тока в цепи равную 25000 А.

$$N_B = \frac{\sum I}{I}, \quad (43)$$

где I – сила тока в цепи;

N_B – количество ванн в цехе.

$$N_B = \frac{97866}{25000} = 3,91.$$

Примем $N_B = 4$.

Напряжение в цепи рассчитывается по формуле:

$$U_{ц} = N_B \cdot U_{э} \cdot K, \quad (44)$$

где U_3 – напряжение электролизера, 4,5 В;

K – коэффициент, учитывающий потери напряжения в ошиновке, $K=1,15$.

$$U_{ц} = 4 \cdot 4,5 \cdot 1,15 = 20,75 \text{ В.}$$

Для подвода тока используются 2 источника тока ТВ1-25000/12Т имеющие номинальное выходное напряжение 12В.

3.2 Расчет габаритных размеров электродов.

Суммарная площадь катодов рассчитывается по формуле:

$$F_k = \frac{I}{D}, \quad (45)$$

где D – плотность тока.

$$F_k = \frac{25000}{3} = 8333,34 \text{ см}^2.$$

Количество катодов определяется из следующего соотношения:

$$n_k = \frac{F_k}{2 \cdot S_k}, \quad (46)$$

где S_k – площадь катодной поверхности;

2 – коэффициент, указывающий на двустороннее использование катода.

Катод имеет форму половины эллипса, тогда рабочая площадь будет равна:

$$S_k = \frac{a \cdot b \cdot \pi}{2}, \quad (47)$$

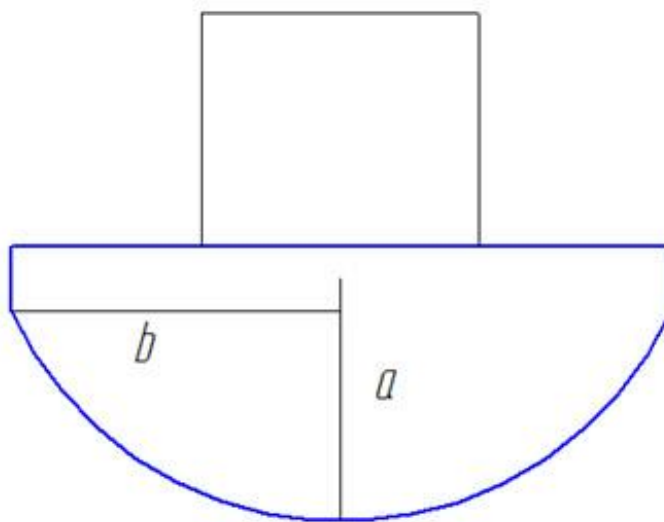


Рисунок 14 – Схематичное изображение катода с размерами

Принимаем, $a=25$ см, $b=40$ см, толщина катода равна 2 см.

$$S_k = \frac{20 \cdot 40 \cdot 3,14}{2} = 1570 \text{ см}^2.$$

Следовательно количество катодов будет равно:

$$n_k = \frac{8333,34}{2 \cdot 1570} = 2,65,$$

Примем $n_k=3$

Тогда количество анодов будет равным:

$$n_a = n_k + 1, \quad (48)$$

$$n_a = 4$$

Аноды – графитовые прямоугольные пластины толщиной 95 мм расположенные равномерно. Рабочая площадь анода больше рабочей площади катода на 30 % и составляет:

$$S_a = 1570 + 1570 \cdot 0,3 = 2041 \text{ см}^2.$$

Примем, исходя из конструктивных соображений, ширину анода не более 45 см. Тогда высота его получится

$$h_{ан} = \frac{2041}{45} = 45,35 \text{ см}.$$

Допустимый ток в изолированных проводах при продолжительной работе исходя из допустимой плотности тока для отдельно лежащего проводника 10 А/мм^2 . Шины будем использовать медные.

Ширина 100 мм –толщина 10 мм.

3.3 Расчет габаритных размеров электролизера

Длину ванны определяют из следующего выражения:

$$L_B = n \cdot l_a + 2 \cdot l_b, \quad (49)$$

где l_a – расстояние между плоскостями симметрии анодов, $l_a = 40$ см;

l_b – расстояние между центром крайнего анода и торцевой стенкой ванны, $l_b = 20$ см;

n – количество анодов.

$$L_B = 4 \cdot 40 + 2 \cdot 20 = 200 \text{ см.}$$

Высоту ванны определяют из следующего выражения:

$$H_B = h_k + h_{\text{верх}} + h_{\text{ниж}},$$

где h_k – рабочая высота катода, $h_k = 25$ см;

$h_{\text{верх}}$ – расстояние от кромки катода до верхнего края борта ванны, принимаем равным 15 см;

$h_{\text{ниж}}$ – расстояние от нижней кромки катода до днища ванны, принимаем равным 30 см;

$$H_B = 25 + 15 + 30 = 70 \text{ см.}$$

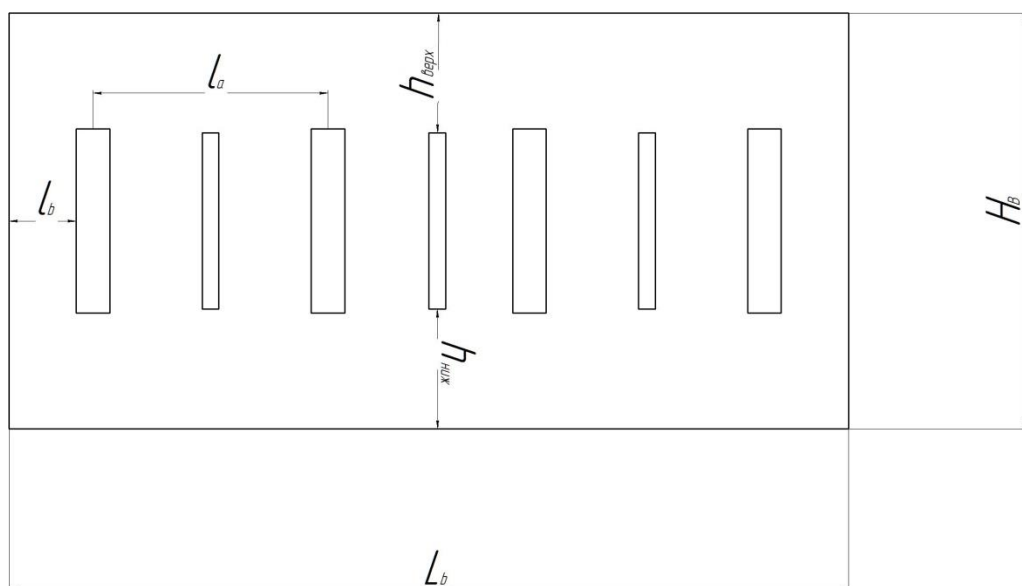


Рисунок 15 – Схема электролизёра

Так как катод закреплен на катодном валу и раз в три часа прокручивается вокруг своей оси для снятия катодного осадка, тогда высота электролизёра равна:

$$H_{\text{эл-ра}} = h_{\text{ниж}} + l_{\text{кат}} \cdot 2 + d_{\text{в}} + h_{\text{верх}} \quad (50)$$

$h_{\text{ниж}}$ – расстояние от нижней точки катода до днища ванны, принимаем равным 43 см;

$h_{\text{верх}}$ – расстояние от верхней точки катода в верхнем положении до верхней части электролизёра, принимаем равным 20 см;

$l_{\text{кат}}$ – длина катода вместе с ножкой для крепления к валу, принимаем равной 65 см;

$d_{\text{в}}$ – диаметр вала, принимаем 7 см.

$$H_{\text{эл-ра}} = 43 + 2 \cdot 65 + 7 + 20 = 200 \text{ см.}$$

Тогда ширина ванны:

$$D_{\text{в}} = l_{\text{с}} \cdot 2 + l_{\text{кат}} \cdot 2 \quad (51)$$

$l_{\text{с}}$ – расстояние от крайней точки катода в боковом положении до стенки ванны, принимаем равным 20 см;

$$D_{\text{в}} = 20 \cdot 2 + 60 \cdot 2 = 160 \text{ см.}$$

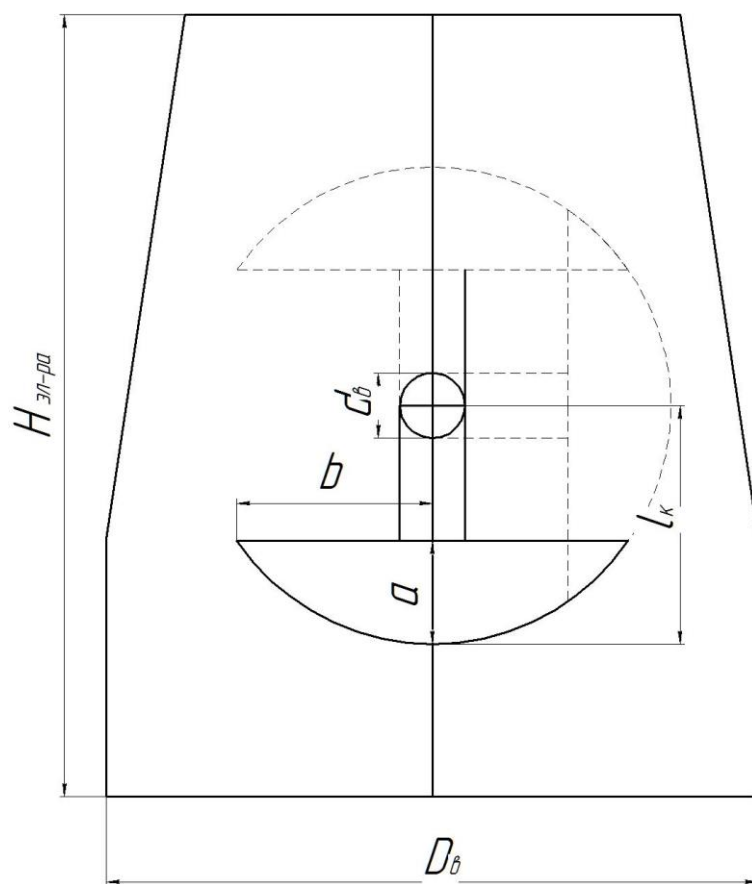


Рисунок 16 – Изображение катода в различных позициях

4 Механический расчет

4.1 Расчет толщины стенок коробчатой обечайки

Требуется определить толщину стенок литой коробчатой обечайки. Аппарат работает под атмосферным давлением. Материал обечайки – Ст.3 ($\sigma_B^{750} = 380$ МПа; $\sigma_T^{750} = 240$ МПа; $n_T = 2,2$; $P = 0,101$ МПа); среда – расплав $p = 2,064$ г/см³; $t = 750$ °C; $H_p = 500$ мм. Укрепляющие ребра при высоте расплава меньше 0,6м не устанавливаются.

Номинальное допускаемое напряжение по пределу текучести определяется по формуле:

$$\sigma_{ид} = \frac{\sigma_T^{750}}{n_T} = \frac{240}{2,2} = 109,09 \text{ МПа}, \quad (52)$$

Номинальная расчётная толщина стенки определяется по формуле [15]:

$$s' = K \cdot b \sqrt{\frac{P}{\sigma_{ид}}}, \quad (53)$$

где b – меньшая сторона прямоугольной стенки, 0,62 м;

K – коэффициент, зависящий от способа закрепления стенки $K = 0,4$.

$$s' = 0,4 \cdot 0,7 \sqrt{\frac{0,101}{109,09}} = 8,51 \text{ мм.}$$

Примем прибавку на коррозию и округление размера до большего сортамента равную $C_o = 1,49$ мм. Толщина стенки с учётом прибавки будет равна:

$$s = s' + C_o, \quad (54)$$

$$s = 8,51 + 1,49 = 10 \text{ мм.}$$

Определим максимальное значение напряжения (в середине более длинной стороны):

Расчетное давление в нижней части аппарата определяется по формуле:

$$P = p g H_p, \quad (55)$$

$$P = 2,064 \cdot 10^3 \cdot 9,814 \cdot 0,5 = 10,128 \text{ кПа} = 0,010128 \text{ МПа.}$$

$$\sigma_{\max} = \frac{0,5 \cdot P \cdot a^2}{(1 + 0,632 \cdot k^6) \cdot s^2},$$

где a – длина ванны, $a = 2000$ мм;

s – толщина стенки, мм;

k – коэффициент, равный отношению ширины ванны к ее длине,

$$\frac{a}{b} = 1,25.$$

Получим:

$$\sigma_{\max} = \frac{0,5 \cdot 0,010128 \cdot 2000^2}{(1 + 0,632 \cdot 1,25^6) \cdot 10^2} = 59,38 \text{ МПа.}$$

Допускаемое напряжение для стали составляет 131 МПа, следовательно, выбранная толщина стенки ванны удовлетворяет условию прочности.

4.2 Расчет толщины обечайки рубашки охлаждения

Толщина стенки рубашки рассчитывается по формуле [15]:

$$s_p = 0,15 \cdot \frac{p}{\phi_{ш} \cdot \sigma_d} \cdot D_B + t \cdot \sqrt{\frac{p_p}{5 \cdot \phi_{шp} \cdot \sigma_{др}}}, \quad (56)$$

где D_B – ширина обечайки аппарата $D_B = 1,6$ м;

p – давление внутри аппарата $p = 0,101$ МПа;

p_p – давление в рубашке $p_p = 0,152$ МПа;

t – Наименьшее расстояние между центрами соседних вмятин, $t = 0,14$ м;

σ_d – Допускаемое напряжение на растяжение для материала корпуса аппарата $\sigma_d = 415 \text{ МН/м}^2$;

$\sigma_{др}$ – Допускаемое напряжение на растяжение для материала рубашки $\sigma_{др} = 131 \text{ МН/м}^2$;

$\phi_{ш}$ – коэффициент прочности продольного сварного шва принимается $\phi_{ш} = 1$;

$\phi_{шp}$ – коэффициент прочности таврового сварного шва принимается $\phi_{шp} = 0,8$.

$$s_p = 0,15 \frac{0,101}{1 \cdot 415} \cdot 1,6 + 0,14 \cdot \sqrt{\frac{0,152}{5 \cdot 0,8 \cdot 131}} = 0,00244 \text{ м} = 2,44 \text{ мм}.$$

Выбираем прибавку на округление толщины стенки до ближайшего большего сортамента $C_o = 0,56$ мм.

Толщину стенки с учетом прибавок определяем по формуле

$$s = s_p + C_o + C_k, \quad (57)$$

где C_k – прибавка на коррозию и эрозию $C_k = 1$ мм.

$$s = 2,4 + 0,56 + 1 = 4 \text{ мм}.$$

Определим допускаемое давление в рубашке при принятой толщине стенки аппарата по формуле:

$$p_p = \frac{5 \cdot \varphi_{шр} \cdot \sigma_{др}}{t^2} \cdot \left((s - C_k) - 0,15 \cdot \frac{p}{\varphi_{ш} \cdot \sigma_d} \cdot D_B \right)^2, \quad (58)$$

$$p_p = \frac{(5 \cdot 0,8 \cdot 131)}{0,14^2} \cdot \left((0,004 - 0,001) - 0,15 \cdot \frac{0,101}{1 \cdot 131} \cdot 1,6 \right)^2 = 0,211 \text{ МПа}.$$

4.3 Расчет опор

Для выбора опоры необходимо вычислить массу аппарата с полной загрузкой электролита.

1) Масса электролита, $M_э = 867,0375$ кг.

2) Масса стенок реактора

Необходимо вычислить объёмы стенок, днища и крышки реактора, примем размер днища равным размеру крышки. Материал стенок – Ст.3 с плотностью, $\rho = 7.8$ г/см³.

$$V_{ст} = (2 \cdot 160 \cdot 200 \cdot 1) + (2 \cdot 200 \cdot 200 \cdot 1) + (2 \cdot 200 \cdot 160 \cdot 1) = 208000 \text{ см}^3 = 0,208 \text{ м}^3$$

$$M_{ст} = \rho V = 0,208 \cdot 7800 = 1622,4 \text{ кг}.$$

3) Масса рубашки охлаждения

$$M_p = 537,6 \text{ кг}.$$

4) Масса катодов, $M_k = 84,96$ кг.

5) Масса анодов, $M_a = 290,7$ кг.

6) Масса воды в рубашке охлаждения, $M_{H_2O} = 245,58$

7) Общая масса

$$M_{\text{общ}} = M_{\text{э}} + M_{\text{ст}} + M_{\text{р}} + M_{\text{к}} + M_a + M_{H_2O} = 3648,2775 \text{ кг.}$$

Рассчитаем максимальную нагрузку на аппарат:

$$Q_{\text{макс}} = M_{\text{общ}} \cdot g = 3648,2775 \cdot 9.81 = 35,789 \text{ кН.}$$

Для аппарата принимаем количество опор $n = 6$, следовательно:

$$Q = \frac{Q_{\text{макс}}}{4} = \frac{35,789}{6} = 5,964 \text{ кН.}$$

В качестве опор выбираем трубы 76х3,5 ГОСТ 8732-78 [15].

5 Гидравлический расчет

5.1 Расчет штуцеров рубашки охлаждения

Из теплового баланса следует, что зная тепло затрачиваемое на нагрев воды можно узнать расход воды необходимой для отведения тепла [13]:

$$Q_{\text{охл}} = \frac{C_P^{H_2O} \cdot P_{H_2O} \cdot \Delta t}{M}.$$

Температура воды на входе в рубашку 12°C, температура воды на выходе из рубашки охлаждения 62°C.

$$\text{отсюда } P_{H_2O} = \frac{Q_{\text{охл}} \cdot M}{C_P^{H_2O} \cdot \Delta t} = \frac{648320 \cdot 18}{75,299 \cdot 50} = 3099,58 \text{ кг/ч.}$$

Для охлаждения всех электролизеров расходуется 3099,58 кг/час воды, следовательно, для охлаждения одного электролизера используется 774,89 кг/час воды.

Определение режима движения жидкости в рубашке охлаждения аппарата:

$$Re = \frac{\omega \cdot l_p \cdot \rho}{\nu}, \quad (59)$$

где Re – число Рейнольдса;

ω – скорость потока воды в рубашке, м/с;

l_p – ширина рубашки, м;

ν – кинематическая вязкость воды, м²/с.

При средней температуре воды $\Delta t_{\text{ср}}^B = 50^\circ\text{C}$ вышеуказанные величины имеют следующие значения: $\nu_2 = 0,81 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2/\text{с}$; $l_p = 0,1 \text{ м}$.

Скорость потока воды в рубашке находим по формуле:

$$\omega = \frac{P_{H_2O}}{f_p \cdot 3600 \cdot \rho_B}, \quad (60)$$

где P_{H_2O} – массовый расход воды, кг/ч,

f_p – площадь сечения рубашки аппарата, $f_p = 0.0245 \text{ м}^2$;

ρ_B – плотность воды при $\Delta t_{\text{ср}} = 50^\circ\text{C}$, $\rho_B = 995 \text{ кг/м}^3$.

$$\omega = \frac{774,89}{0,0245 \cdot 3600 \cdot 995} = 0,009 \text{ м/с.}$$

Число Рейнольдса составляет:

$$Re = \frac{0,009 \cdot 995}{0,81 \cdot 10^{-3}} = 11055$$

Так как $Re_2 > 2300$, то течение воды в рубашке происходит в турбулентном режиме.

Диаметр штуцера для подачи воды вычисляется по формуле:

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot P}{\pi \cdot \omega \cdot \rho}}, \quad (61)$$

где P – массовый расход воды, $P = 0,219 \text{ кг/с}$;

ρ – плотность воды при $t_n = 20^\circ\text{C}$, $\rho_2 = 998 \text{ кг/м}^3$;

ω – скорость движения воды, $\omega_2 = 0,009 \text{ м/с}$

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,219}{\pi \cdot 0,009 \cdot 998}} = 0,176 \text{ м.}$$

Из таблицы штуцеров выбираем штуцер (рисунок 17) со следующими параметрами [15].

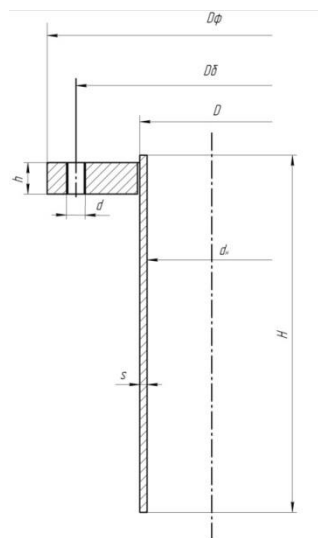


Рисунок 17 – Размеры штуцера и фланца

Внутренний диаметр штуцера, $d_n = 200 \text{ мм}$; высота штуцера, $H = 150 \text{ мм}$; толщина стенки штуцера, $s = 5 \text{ мм}$; наружный диаметр штуцера с учетом упора

для фланца, $D = 222$ мм; толщина фланца $h = 18$ мм; диаметр фланца, $D_{\phi} = 315$ мм; диаметр между болтовыми отверстиями фланца, $D_6 = 280$ мм; диаметр болтового отверстия, $d = 20$ мм.

Так как, рубашка охлаждения состоит из 5 секций к каждой из них подходит соевой штуцер входа и выхода охлаждающей воды, таким образом, для создания давления в рубашке примем диаметр штуцеров входа и выхода воды в 6 раз меньше подводящего штуцера.

Штуцер будет имеет следующие размеры: внутренний диаметр штуцера, $d_n = 32$ мм; высота штуцера, $H = 90$ мм; толщина стенки штуцера, $s = 3$ мм; наружный диаметр штуцера с учетом упора для фланца, $D = 35$ мм; толщина фланца 10 мм; диаметр фланца, $D_{\phi} = 120$ мм; диаметр между болтовыми отверстиями фланца, $D_6 = 90$ мм; диаметр болтового отверстия, $d = 10$ мм

5.2 Подбор размера штуцера подачи аргона

Примем, что расход аргона должен быть в 2 раза больше количества выделяющихся анодных газов, тогда $P_{ap} = 59,55$ кг/ч = 0.016 кг/с.

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot P_{ap}}{\pi \cdot \omega \cdot \rho}}$$

где P – массовый расход воды, $P_{ap} = 0,016$ кг/с;

ρ – плотность аргона, $\rho_2 = 1,784$ кг/м³;

ω – скорость движения аргона, $\omega_2 = 12$ м/с

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,016}{3,14 \cdot 12 \cdot 1,784}} = 0,030 \approx 32 \text{ мм}$$

Таким образом расход аргона составляет 59,55 кг/ч, а штуцер будет имеет следующие размеры: внутренний диаметр штуцера, $d_n = 32$ мм; высота штуцера, $H = 90$ мм; толщина стенки штуцера, $s = 3$ мм; наружный диаметр штуцера с учетом упора для фланца, $D = 35$ мм; толщина фланца 10 мм;

диаметр фланца, $D_{\phi} = 120$ мм; диаметр между болтовыми отверстиями фланца, $D_6 = 90$ мм; диаметр болтового отверстия, $d = 10$ мм [15].

5.3 Расчет штуцера подачи и выгрузки электролита

В процессе электролиза необходимо раз в 3 часа производить корректировку электролита для этого необходимо в электролизер подовать 165,33 кг электролита в течение 5 минут, примем следующие исходные данные для расчета диаметра штуцера: массовый расход, $P = 165,33$ кг, плотность электролита, $\rho = 2064$ кг/м³. Также при корректировке электролита данный штуцер будет использоваться для откачки расплава.

Объемный расход рассчитывается по следующей формуле:

$$V = \frac{P}{\rho \cdot t}, \quad (63)$$

где t – время в секундах.

$$V = \frac{165,33}{2064 \cdot 300} = 2,66 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3/\text{с}$$

Скорость потока равна: $w = 0,1$ м/с.

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot 2,66 \cdot 10^{-4}}{0,1 \cdot 3,14}} = 0,058 \text{ м}$$

Выберем штуцер из стандартной таблицы штуцеров с диаметром на 30 % больше рассчитанного, так как рассчитанный диаметр штуцера является минимальным.

Внутренний диаметр штуцера, $d_{\text{н}} = 78$ мм; высота штуцера, $H = 120$ мм; толщина стенки штуцера, $s = 3,5$ мм; наружный диаметр штуцера с учетом упора для фланца, $D = 78,5$ мм; толщина фланца 20 мм; диаметр фланца, $D_{\phi} = 185$ мм; диаметр между болтовыми отверстиями фланца, $D_6 = 150$ мм; диаметр болтового отверстия, $d = 18$ мм.

6 Строительная часть

Цех электролитического получения титана находится в здании «каркасного» типа, несущая часть здания – железобетонные колонны с железобетонными фермами, со стенами из кирпича.

При размещении в цехе аппаратов, необходимо учитывать их габаритные размеры, а также необходимо создать условия для их обслуживания и ремонта. Зная число аппаратов можно рассчитать необходимую площадь, занимаемую под отделение участка электролиза.

Цех электролиза будет иметь следующие размеры: длина $L_{ц} = 24$ м, ширина $B_{ц} = 12$ м, площадь цеха $S_{ц} = 288$ м².

Трубопроводы не должны примыкать к стенкам, колоннам зданий. Расстояние между трубопроводом и неподвижной опорой составляет не менее 50 мм. Расстановка вспомогательного оборудования в цехе должна соответствовать очередности операций; по точности технологического оборудования и действующими строительными нормами и правилами.

6.1 Фундамент

Глубина закладки фундаментов внутренних стен и колон отапливаемых зданий принимается независимо от глубины промерзания грунта, поскольку грунт промерзает лишь по периметру. Глубина закладки фундамента под несущие стены – 1 м. На такую же глубину заложен фундамент стаканного типа под железобетонные балки и колонны. Для защиты фундамента наружных стен и колонн от увлажнения вокруг здания устанавливается отмостка шириной от 1 до 1,5 м.

Фундамент под несущие стены располагается по всему их периметру и называется ленточным. Фундамент сборных железобетонных колонн делают в виде ступенчатого массива, армированного по низу. Под колодкой находится стакан. После установки колонны, оставшийся объем заливают бетоном [16] м.

Колонны изготавливаются из бетона марок 300, 400 без предварительного напряжения. Перед бетонированием в них закладываются стальные детали в виде пластин. Они служат для крепления к колоннам других элементов каркаса и стен. Нижний конец сборной железобетонной колонны имеет прямоугольное сечение и прямой торец без специальных деталей для крепления к фундаменту. Стальная часть колонны имеет следующее устройство: подкрановая часть колонны имеет двутавровое сечение. Ветви соединены между собой решеткой из прокатных уголков. Стальные колонны изготавливают при помощи сварки из прокатных или сварных профилей. Для крепления к колоннам других деталей, элементов каркаса, делают отверстие для болтов или приваривают стальные детали. В нижней части колонны имеется башмак для крепления колонны к фундаменту.

6.2 Наружные стены

Наружные стены представляют собой самонесущие стены, которые испытывают действие 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.

6.3 Покрытие

Покрытие состоит из двух основных частей: несущей и ограждающей. Несущие конструкции в виде стальных балок и железобетонных ферм поддерживают ограждающие элементы покрытия и передают нагрузку на колонны каркаса. Несущая часть покрытия состоит из следующих частей:

а) Настил, образующий сплошную поверхность покрытия: настил изготавливается из крупнопанельных железобетонных плит, опирающихся непосредственно на несущие конструкции.

б) Утеплитель – укладывается поверх настила.

в) Кровля – водоизоляционный слой, препятствует попаданию атмосферной влаги в внутрь здания. При рулонной кровли поверх утеплителя, для наклейки кровли необходим выравнивающий слой. В качестве настила используют ребристые крупнопанельные плиты $6 \div 3$ м. В качестве утеплителя применяют керамзит. Кровля выполняется из рубероида 3-х слоев, проклеивается битумной мастикой. Основанием рубероидной кровли служит выравнивающий слой - стяжка из бетона марки М - 300.

6.4 Полы

Полы являются таким элементом промышленного здания, который наиболее сильно испытывает непосредственное влияние технологического процесса. В зависимости от технических требований полы различаются на:

1. Стойкие к механическим воздействиям;
2. Стойкие к действию воды;
3. Стойкие к действию химических веществ.

По санитарно-гигиеническим требованиям полы должны быть бесшумными, мало теплопроводящими, не должны пылить и должны легко очищаться. В цехе пол используется бетонный пол с флюатирующей пропиткой. В бытовых, конторских и других вспомогательных помещениях полы выполняются: в сухих – линолеумные; в мокрых – из керамической плитки [17].

6.5 Водоснабжение

На промышленных предприятиях различают водопроводы трех видов: производственный, хозяйственный, противопожарный.

Производственный водопровод обеспечивает подачу воды для приготовления раствора хладагента и непосредственного использования в

технологическом процессе. Качество воды для производственных нужд определяется соответствующими технологическими требованиями.

Хозяйственно-питьевая вода подается к умывальникам, душам, питьевым фонтанчикам, для уборки помещений, поливки дорог и земельных насаждений. Качество питьевой воды определяется по цвету, запаху, вкусу, на основе химического анализа на содержание Pb, F, Cl, Zn и др. показателям [16].

К воде используемой для пожаротушения не предъявляется ни каких требований и поэтому пожарный водопровод иногда объединяется с производственным, а чаще с хозяйственным.

6.6 Окна, двери, ворота

Размер оконных проемов и конструкция их заполнения зависит от конструкции стен. В крупнопанельных стенах во избежание дробления панелей оконные проемы делают или в ширину, равную шагу колонн, или, чаще всего, в виде ленточного остекления. Заполнение оконных проемов промышленных зданий делают из дерева и стали.

Расположение дверей и ворот должно отвечать производственным потребностям. Эвакуационные выходы должны соответствовать противопожарным требованиям дверная коробка укрепляется в проёме стены, а дверь навешивается на коробку. В цеху предусмотрены двое ворот шириной 2.7 м для ввоза реагентов и вывоза готовой продукции.

По способу открытия ворот различают: распашные, раздвижные и т.п. Используют раздвижные и створные ворота в зависимости от необходимости. Во избежание переохлаждения помещений при длительном открывании ворот в зимнее время, проемы ворот оборудуются специальными завесами. Внутренние стены устанавливаются в качестве звуко-, влаго- и пожароизолирующих преград.

6.7 Канализация

Канализация – система устройств, предназначенных для приема, отведения и очистки сточных вод различного назначения. Бытовой называется канализация, принимающая сточные воды уборных, умывальников, душей и т.п.

Производственная канализация промышленных предприятий может делиться на отдельные системы в зависимости от состава сточных вод и способов их очистки.

В помещениях связанных с открытым стоком отработанных растворов, при выполнении ремонтных и наладочных работ, а также производственные площади, где производится уборка водой, полы делают с уклоном и оборудуют в низких местах приемниками, откуда наружными насосами стоки откачиваются в предусмотренные места.

7 Социальная ответственность

Охрана труда - система сохранения жизни и здоровья работников в процессе трудовой деятельности, включая правовые, социально-экономические, организационно-технические, санитарно-гигиенические, лечебно-профилактические и иные мероприятия (ч.1 ст. 209 ТК РФ). Законодательные акты РФ об охране труда закрепляют право трудящихся на охрану труда.

Требования, направленные на охрану здоровья работников в процессе труда чаще всего закрепляются в подзаконных нормативных правовых актах. Детальный перечень видов таких актов установлен постановлением правительства РФ от 27.12.10 № 1160 «О нормативных правовых актах, содержащих государственные нормативные требования охраны труда» [18].

Задача охраны труда – свести к минимуму вероятность поражения или заболевания работающего с одновременным обеспечением комфорта при максимальной производительности труда [19].

7.1 Общая характеристика производства

К числу факторов, оказывающих вредное воздействие при производстве титана электролитическим методом, относятся следующие виды опасностей физические, химические, психофизиологические согласно ГОСТ 12.0.003–74 «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация» [20].

На работников могут воздействовать следующие факторы:

Физические:

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

– опасность возникновения пожара.

Химические:

– опасность отравления парами и аэрозолями химически агрессивных и токсичных веществ (фторид калия, фтороводород).

Психофизиологические:

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

Ввиду перечисленных факторов данное производство согласно [20] относится к вредным. Основные параметры, характеризующие условия труда на данном производстве: микроклимат, электробезопасность, шум, вибрация, электроосвещение, пожарная безопасность и промышленная санитария.

7.2 Промышленная санитария

В ходе проведения процесса электролитического получения титанового порошка необходимо отслеживать ПДК солей и анодных газов в воздухе рабочей зоны. Предельно допустимые концентрации вредных веществ в воздухе рабочей зоны представлены в таблице 8.

Таблица 8 – Предельно допустимые концентрации вредных веществ в воздухе рабочей зоны [21]

Наименование	Класс опасности	ПДК в воздухе рабочей зоны, мг/м ³
Фторид калия (KF)	2	0,2
Фтортитанат калия (K ₂ TiF ₆)	2	0,2
Хлорид калия (KCl)	3	5
Оксид углерода (CO)	4	20
Фтороводород (HF)	2	0,1

В данном производстве используются токсичные фториды калия и

титана, а также в воздухе рабочей зоны может присутствовать фтороводород. пары и аэрозоли этих веществ поражают слизистые оболочки, вызывают отеки и общее отравление организма. Для обеспечения безопасных условий труда при работе с фтористыми солями и фтороводородом необходимо выполнять следующие требования [22]:

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

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

- спецодежда повседневного применения (костюмы ГОСТ 27575-87 [23] – для защиты от общих производственных загрязнений и механических воздействий)
- средства защиты органов дыхания – респираторы ШБ-1 "Лепесток". – ГОСТ 12.4.028–76 [24]
- спецобувь – ГОСТ 12.4.270-2014 [25] (основная дезактивируемая спецобувь)
- средства защиты рук – ГОСТ 12.4.010–75 [26] (защитные хлопчатобумажные и резиновые перчатки, камерные перчатки, рукавицы и т.д.)
- средства защиты глаз – ГОСТ 12.4.153–85 [27] (защитные очки, защитные щитки).

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

средств. Также каждый работник должен уметь оказывать первую медицинскую помощь пострадавшему при отравлении или получении химического ожога [28].

7.3 Микроклимат

Воздух рабочей зоны (микроклимат) в спроектированном производственном помещении определяют по следующим параметрам: температура, относительная влажность, скорость движения воздуха. Оптимальные и допустимые значения характеристик микроклимата приведены в таблице 9 и в таблице 10 [29] [30].

Таблица 9 – Оптимальные параметры микроклимата

Период года	Температура, °С	Относительная влажность, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный и переходный	22–24	40–60	0,1
Теплый	23–25	40–60	0,1

Таблица 10 – Допустимые параметры микроклимата

Период года	Температура, °С	Относительная влажность, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный и переходный	20,0–21,9	15–75	0,1
Тёплый	20,0–21,9	15–75	0,1

К мероприятиям по оздоровлению воздушной среды в производственном помещении относятся: вентиляция и кондиционирование воздуха, отопление помещений. Вентиляция может осуществляться естественным и механическим путём. В помещение должны подаваться

следующие объёмы наружного воздуха: при объёме помещения до 20 м^3 на человека – не менее 30 м^3 в час на человека; при объёме помещения более 40 м^3 на человека и отсутствии выделения вредных веществ допускается естественная вентиляция [30].

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

7.4 Вентиляция

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

Для определения кратности воздухообмена применим формулу [31]:

$$K = \frac{V}{V_{\text{ц}}}, \quad (64)$$

где K – кратность воздухообмена,

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

$V_{\text{ц}}$ – объем цеха, м^3 ,

$V_{\text{ц}}$ – для помещений высотой 6 м и более следует принимать как:

$$V_{\text{ц}} = 6 \cdot S, \quad (65)$$

где S – площадь помещения, 288 м^2 .

$$V_{\text{ц}} = 6 \cdot 288 = 1728 \text{ м}^3,$$

$$V = \omega \cdot F_p \cdot 3600, \quad (66)$$

где ω – скорость воздуха, $\omega = 6 \text{ м/с}$,

F_p – площадь поперечного сечения канала, м^2 ,

$$F_p = \frac{\pi \cdot d^2}{4}, \quad (67)$$

где d – диаметр проема вентиляции примем равным 0,8 м.

$$F_p = \frac{3,14 \cdot 0,8^2}{4} = 0,5024 \text{ м}^2,$$

$$V = 6 \cdot 0,5024 \cdot 3600 = 10851,84 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Тогда кратность воздухообмена будет равна:

$$K = \frac{10851,84}{1728} = 6,28.$$

Согласно СНиП 2.04.05–91 «Расчет и распределение приточного воздуха» [32] для помещения высотой 6 - 8 м и более кратность воздухообмена должна составлять от 5 до 7. Таким образом, кратность воздухообмена проектируемого участка находится в пределах нормы.

7.5 Электроосвещение

Рациональное освещение производственных помещений и территории завода имеет немаловажное значение в комплексе санитарно-гигиенических мероприятий, направленных на оздоровление условий труда и повышение работоспособности обслуживающего персонала. Для создания благоприятных рабочих условий, степень освещённости в производственных помещениях на участке электролиза нормируется, норма освещения составляет 300 лк [33].

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

Искусственное освещение является комбинированным. В помещении участка электролиза используют люминесцентные светильники типа ПВЛ - 1. Число светильников для цеха определяется по формуле [33]

$$n = \frac{E \cdot S \cdot z \cdot k}{F \cdot U \cdot m}, \quad (68)$$

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

S – площадь помещения, $S = 288 \text{ м}^2$;

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

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

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

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

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

$$n = \frac{300 \cdot 288 \cdot 1,1 \cdot 1,3}{2500 \cdot 0,55 \cdot 2} = 45 \text{ светильников.}$$

Следовательно, для создания достаточной освещенности на участке электролиза необходимо установить 45 светильников.

7.6 Электробезопасность

Электробезопасность – система организационных мероприятий и технических средств, предотвращающих вредное и опасное воздействие электрического тока и электрической дуги на работающих. Знание основ электробезопасности обязательно для персонала, обслуживающего электроустановки и электрооборудование. [34]

Ячейки и аппараты электролизеров относятся к электротехническим установкам напряжением до 1000 В, поэтому на них распространяются и должны выполняться все требования и положения «Межотраслевых правил по охране труда (правил безопасности) при эксплуатации электроустановок» [35]. В соответствии данным положением все помещения делят по опасности поражения электрическим током на следующие классы:

- без повышенной опасности;
- с повышенной опасностью;

- особо опасные.

На данном производстве опасность поражения электрическим током создает следующее оборудование:

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

В проектируемом цеху к средствам индивидуальной защиты от поражения электрическим током относятся [34]:

- оградительные устройства, которые могут быть стационарными и переносимыми. Ограждения могут быть заблокированы с устройствами, отключающими рабочее напряжение при снятии;
- изолирующие устройства и покрытия;
- устройства защитного заземления, зануления и защитного отключения;
- устройства дистанционного управления;
- предохранительные устройства.

Существует опасность поражения электрическим током в следующих случаях:

- при непосредственном прикосновении к токоведущим частям во время ремонта электрических приборов;
- при прикосновении к нетоковедущим частям, оказавшимся под напряжением (в случае нарушения изоляции);
- при прикосновении с полом, стенами, оказавшимися под напряжением;
- при коротком замыкании.

Мероприятия по обеспечению электробезопасности электроустановок заданного цеха:

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

- вывешивание плакатов, указывающих место работы;
- заземление корпусов всех установок через нулевой провод;
- покрытие металлических поверхностей инструментов надежной изоляцией;
- недоступность токоведущих частей аппаратуры (заклучение в корпус токоведущих и электропоражающих частей)

В соответствии с «Межотраслевыми правилами по охране труда (правил безопасности) при эксплуатации электроустановок» [35] помещение, где находятся электролизеры, относится к категории А – особо опасным. Так как в помещении присутствуют токопроводящие полы, а также существует опасность одновременного прикосновения к металлическим конструкциям и корпусам электрооборудования.

7.7 Мероприятия по защите от шума и вибрации

Шум и вибрация ухудшают условия труда, оказывают вредное воздействие на организм человека, а именно, на органы слуха и на весь организм через центральную нервную систему. В. Шум может создаваться работающим оборудованием, установками кондиционирования воздуха, осветительными приборами дневного света, а также проникать извне [36].

Согласно ГОСТ 12.1.003–2014 уровень звукового давления в производственном помещении не должен превышать 93 дБ [37]. Источниками шума и вибрации на участке электролиза являются: насосы и вентиляционные системы, сила звука которых не превышает 70 дБ. В связи с этим необходимо провести следующие организационно-технические мероприятия по защите от шума и вибрации:

- рационально разместить насосы и вентиляторы по степени шумности по всему участку;
- покрыть стены звукопоглощающими материалами (акустической штукатуркой);

- использовать вибропоглощающие покрытия (резиновые прокладки);
- использовать средства индивидуальной защиты (противошумные наушники, закрывающих ушную раковину снаружи).

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

7.8 Пожарная безопасность

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

При разборе действенных методов предупреждения и ликвидации пожаров и взрывов используют общие теоретические положения о горении и взрывах, а также данные, полученные при изучении причин пожаров и взрывов на производстве. Исследованиями установлено, что основными и наиболее частыми причинами загораний, пожаров и взрывов на предприятиях химической промышленности являются [38]:

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

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

Все категорирование основано согласно норм НПБ 105-95 «Определение категорий помещений и зданий по взрывопожарной и пожарной опасности» [39]. Согласно этому документу все помещения и здания делятся на 5 категорий. Категории А и Б – взрывопожароопасные помещения, категории В, Г и Д – пожароопасные помещения.

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

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

7.9 Охрана окружающей среды

Химические предприятия являются одним из основных источников загрязнения окружающей среды. Все отходы производства подвергаются обязательной обработке.

Из оборудования производства в открытую гидрографическую сеть сбрасываются сточные воды, используемые для охлаждения компрессора и электролизеров. При нормальном ходе технологического процесса загрязнение водных объектов сбросными водами производства не происходит. Периодически осуществляется контроль сточных вод на pH, F⁻ и сухой остаток.

Воздух общеобменных вентиляционных систем производства перед выбросом в атмосферу проходит очистку на газоочистных сооружениях.

Выбросы, вредные воздействия которых определяются наличием в них фтористого водорода, перед выбросом в атмосферу проходят санитарную очистку на газоочистной установке, состоящей из двух последовательно включенных в работу абсорбционных колон, в результате чего в атмосферу выбрасываются газы, которые соответствуют нормам на выбросы [40].

7.10 Заключение по разделу

В данном разделе рассмотрены вредные производственные факторы, возникающие при получении титана электролитическим методом такие как: электробезопасность, пожарная безопасность, шум и вибрация, вентиляция, микроклимат, освещенность и охрана окружающей среды. Проектируемое помещение, по электрической опасности относится к категории А, по пожарной опасности относится к категории Г.

Все мероприятия по ТБ и ОТ разработаны в соответствии с санитарно-гигиеническими нормативами и ГОСТами. Условия труда для рабочего и служащего персонала соответствуют нормам. Выбросы в атмосферу не превышают допустимых значений, экологическая безопасность на соответствующем уровне.

8 Автоматизация процесса

Развитие автоматизации химической промышленности связано с возрастающей интенсификацией технологических процессов и ростом производств, использованием агрегатов большой единичной мощности, усложнением технологических схем, предъявлением повышенных требований к получаемым продуктам.

Особое значение придается вопросам автоматизации процессов химической технологии в связи с взрыво- и пожароопасностью перерабатываемых веществ, их агрессивностью и токсичностью, с необходимостью предотвращения вредных выбросов в окружающую среду. Указанные особенности, высокая чувствительность к нарушениям заданного режима, наличие большого числа точек контроля и управления процессом, а также необходимость своевременного и соответствующего воздействия на процесс в случае отклонения от заданных по регламенту условий протеканий не позволяет даже опытному оператору обеспечить качественное ведение процесса вручную. Человек обладает конечной скоростью восприятия ограниченного объема информации. Оператор должен непрерывно следить за процессом, с максимальной быстротой оценивать текущую обстановку и в случае необходимости принимать решения с целью поддержания заданного режима, что чрезвычайно сложно, а иногда и невозможно. Поэтому в настоящее время эксплуатация процессов технологии без автоматизации практически невозможна [41].

8.1 Составление функциональной схемы автоматизации

Функциональная схема автоматизации является неотъемлемой частью проектного документа, которая определяет количество автоматического оборудования и предоставляет перечень агрегатов, которые требуют автоматического регулирования. [42]

В данном проекте разработана функциональная схема, представленная в приложении А, где изображена аппаратура всех систем контроля, регулирования, сигнализации, относящаяся к данному технологическому процессу.

Функциональная схема включает основной технологический электролизер, бункеры с порошкообразными исходными веществами, агитатор предварительного смешения, реактор плавления.

Главным фактором, определяющим нормальную и стабильную работу всего технологического процесса является точная и стабильная подача реагентов.

8.2 Описание функциональной схемы автоматизации

Процесс начинается с загрузки исходных компонентов: KCl , $KF \cdot HF$, K_2TiF_6 в бункеры шнекового питателя. Контроль массы исходных компонентов в бункерах шнекового питателя осуществляется при помощи датчиков веса (2 – 1, 4 – 1, 6 – 1). После чего ручным включателем запускается мешалка реактора смешения(11). Так как при этом отсутствует сигнал от уровнемера верхнего уровня (7 – 1), включатся двигатели шнеков подачи исходных компонентов в реактор смешения. Частота вращения шнеков регулируется контурами (1 – 2, 4 – 5, 7 – 8). Когда датчик верхнего уровня (7 – 1) сигнализирует, что реактор смешения заполнен, двигатели шнеков подачи исходных компонентов выключаются.

Процесс перемешивания длится 2 часа, а время плавления электролита 4 часа. После перемешивания смеси, ручным включателем запускается двигатель шнека подачи смеси из реактора смешения(1) в реактор плавления(2). При срабатывании датчика нижнего уровня (9 – 1), шнек подачи исходной смеси автоматически выключается. При этом заново запускаются двигатели шнеков подачи исходных компонентов в реактор смешения. Таким образом, процесс подачи исходных компонентов в реактор смешения повторяется. Когда в

реакторе плавления идет процесс плавления электролита, который длится около четырех часов, в реакторе смешения осуществляется процесс перемешивания исходной смеси.

В реакторе плавления с помощью нагревателя поддерживается температура 750 °С и контролируется датчиком (13– 1). Во время процесса плавления выделяется фтористый водород, который регистрируется датчиком давления (12 – 1). Выделившийся HF, отправляется в систему улавливания. По окончании процесса плавления, необходимо готовый электролит выгрузить из реактора плавления и отправить в электролизер(3). Для этого используется вакуумный ковш(19).

При достижении необходимого уровня электролита в электролизере, сигнал от уровнемера верхнего уровня (15–1), поступает на соответствующее устройство, которое останавливает подачу электролита. Одновременно с этим в рубашку охлаждения подаётся вода, расход которой измеряется датчиком расхода (20–1) и с помощью вентиля (25) регулируется расход воды для создания слоя защитного гарнисажа, температура электролита около стенки контролируется датчиком (21–1). После чего в бункер шнекового питателя загружается диоксид титана, масса которого контролируется датчиком (17–1). Затем включается двигатель шнека(19). Частота вращения шнека контролируется частотомером (18–1).

После заполнения электролизера включается источник питания (30) и на зажимы катодов и анодов подается ток. Показание и регистрация силы тока и напряжения происходит при помощи амперметра (23-1), и вольтметра (24-1). Данный процесс ведется в течение 3 часов. После чего источник питания отключают, и включается пусковая аппаратура катодного вала(23) при помощи которого с катодов срезается катодный осадок, который поступает в бункер приема. Затем снова включают источник питания, и процесс повторяют до полного заполнения бункера приема катодного осадка. Масса осадка регистрируется датчиком (19-1). При проведении процесса электролиза

выделяется анодный газ, отправляющийся на очистку, давление газа измеряется при помощи датчика (23-1).

8.3 Перечень технологических параметров, подлежащих контролю, регулированию, сигнализации

Контролю подлежат следующие параметры:

1. Частота шнековых питателей бункеров подачи исходных реагентов.
2. Масса исходных реагентов в бункерах шнековых питателей.
3. Уровень исходной смеси в реакторе смешения.
4. Давление HF на выходе из реактора плавления.
5. Температура в реакторе плавления.
6. Частота вращения шнека для подачи диоксида титана.
7. Уровень электролита в электролизере.
8. Сила тока на выпрямителе электролизера.
9. Напряжение на выпрямителе электролизера.
10. Давление анодного газа отправляющегося на очистку.
11. Расход воды на охлаждение.
12. Температура электролита в электролизере.
13. Масса диоксида титана в бункере.
14. Масса катодного осадка.

Регулированию подлежат следующие параметры:

1. Частота шнековых питателей бункеров подачи исходных реагентов.
2. Уровень исходной смеси в реакторе смешения.
3. Температура в реакторе плавления.
4. Частота вращения шнека для подачи диоксида титана.
5. Уровень электролита в электролизере.
6. Температура электролита в электролизере.
7. Расход воды на охлаждение.

Параметры, подлежащие сигнализации:

1. Масса поступающего диоксида титана.
2. Уровень электролита в электролизере.
3. Масса катодного осадка.

8.4 Перечень первичных преобразователей, использованных в проекте

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

1. ТОПАЗ-153 ВП. Унифицированный измеритель частоты вращения вала. Он предназначен для измерения частоты вращения вала и преобразования ее в электрический сигнал.

Измеритель состоит из двух частей: первичного преобразователя (датчика вихретокового Топаз-178) и вторичного преобразователя (блока измерения).

Характеристика выходного сигнала на выходе блока измерения: импульсный; аналоговый; цифровой;

Диапазон измерения частоты вращения, об/мин - от 1 до 20;

Напряжение питания от источника постоянного тока, В - $27 \pm 20\%$;

Измеритель устойчив к провалам напряжения до 0 В длительностью до 20 мс;

Потребляемая электрическая мощность, Вт, не более 8;

Степень защиты от попадания пыли и воды IP54;

Позиции: 1-1, 3-1, 5-1, 18-1.

2. Уровнемер ИСУ100МИ (двухканальный).

Уровнемер ИСУ100МИ (емкостной измеритель-сигнализатор уровня) представлен в комплекте с двумя датчиками уровня. Один датчик является сигнализатором верхнего уровня, а второй сигнализатором нижнего уровня. Датчики предназначены для измерения уровня сыпучих материалов. Также есть возможность контроля заданных предельных уровней в резервуарах.

Погрешность измерения: $\pm 1\%$;

Потребляемая мощность: 10 В·А;

Выходной сигнал непрерывный токовый на каждый канал измерения.

Температура окружающей среды: от $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+50\text{ }^{\circ}\text{C}$;

Относительная влажность: до 95% (при $40\text{ }^{\circ}\text{C}$);

Вибрационные нагрузки: от 5 до 80 Гц;

Степень защиты: IP54

Позиции: 7-1, 9-1.

3. Датчик измерения силы тока, Килоамперметр Э365 – 1

Килоамперметр Э365 – 1, предназначен для измерения тока в различных отраслях промышленности. Щитовое исполнение. Включает нормирующий преобразователь.

Способ включения через трансформатор с вторичным током 1 А

Диапазон измерений до 40кА

Класс точности 1,5

Габаритные размеры/масса 120х120х50мм/0,5кг

Температура эксплуатации от -40 до $+50\text{ }^{\circ}\text{C}$

Средний срок службы более 12 лет

Позиции: (23-1).

4. Датчик измерения напряжения, Вольтметр ЭВ2231

Вольтметр типа ЭВ2231, предназначен для измерения напряжения в цепях постоянного тока. Щитовое исполнение. Включает нормирующий преобразователь

Диапазон измерения напряжения 0-15 В

Класс точности 2,5

Рабочая температура от -50 до $+60\text{ }^{\circ}\text{C}$

Габаритные размеры 60×60×50 мм

Масса 0,15кг

Позиции: (24-1).

5. Датчик давления с плоской мембраной Trafag.

Компактный преобразователь давления FPT с плоской фронтальной мембраной. Устойчив к ударам, износам работает в широком температурном диапазоне. Данный датчик предназначен для работы во фторидных средах.

Диапазон измерений, бар: от 0 – 100;

Тип измеряемого давления - избыточное;

Точность, %ВПИ: $\pm 0,4\%$;

Выходные сигналы: 4-20мА; 0,5-4,5В; 1-6В;

Температура процесса, °С: от -40 до 125;

Степень защиты: IP65;

Материал корпуса: нержавеющей сталь;

Позиции: 12-1, 26-1.

6. Измерение уровня расплава в электролизёре, Уровнемер УЛМ-11А.

Уровнемеры УЛМ-11А (радарного типа). Предназначены для непрерывного дистанционного измерения уровня жидких и сыпучих сред, а также расплавов.

Основные технические характеристики:

Максимальная погрешность: ± 5 мм

Линия связи: от 0 до 5 мА

Предел измерения: от 0,1 до 10 м

Напряжение питания: 220 В, 50 Гц

Позиция: 15-1

7. Кориолисовый расходомер Метран 360.

Метран-360 - кориолисовый расходомер предназначен для измерения массового и вычисления объемного расхода жидких и газообразных сред; используется в системах автоматического контроля и управления технологическими процессами в различных отраслях промышленности, а также в системах коммерческого учета.

Общие технические данные расходомера:

Диаметр труб: от 15 мм до 125 мм;

Диапазон измерений: от 0,8 до 20 л/мин;

Давление: до 15,8 МПа;

Точность: +/- 0,5%;

Позиция: (20-1).

8. Термоэлемент в оболочке согласно DIN 43710 и DIN EN 60584

Термоэлементы в оболочке применяются в химических установках, на электростанциях, в трубопроводах, в моторостроении, на испытательных стендах. В гибкую тонкостенную оболочку из нержавеющей стали вложены провода термопары, запрессованные огнеупорной окисью магния.

Общие технические данные термопары:

Для температур от -200 до +1200 °С;

Гибкая оболочка с устойчивой к вибрации измерительной частью;

Диаметр защитной трубки от 0,5 мм;

Малое время отклика;

Выпускается с различными монтажными длинами;

Позиция: (13-1, 21-1).

9. Датчик тензометрический SH8C H8C-C3-1.0t-4B

Тензометрические датчики веса используются в весовом оборудовании для статического взвешивания в производстве жидких и сыпучих продуктов, где требуется контроль и измерение веса.

Общие технические данные датчика веса:

Номинальная чувствительность: 3.0+0.003 В

Нагрузка: от 10 до 1000 кг;

Точность: +/- 0,5%;

Материал – конструкционная сталь с никелевым покрытием.

Позиции (2-1, 4-1, 6-1, 17-1, 22-1).

8.5 Автоматизация процесса с использованием ЭВМ

Электронно-вычислительные машины (ЭВМ) на сегодняшний день являются неотъемлемой частью любого производства. Присутствие ЭВМ в корне меняет всю технологию процесса: увеличивает производительность, улучшает условия труда персонала.

Основные направления использования ЭВМ на производстве – выполнение вычислительных работ, хранение и обработка информации, автоматизация производства [43].

В химической технологии любое производство не обходится без процессов, которые протекают в агрессивных средах. Фторидно-хлоридная технология получения металлического титана осуществляется в агрессивной к материалам аппаратов среде и соответственно оказывает вредное воздействие на персонал. Поэтому автоматизация данного процесса необходима.

В данном проекте рассматривается система автоматизации с участием одного оператора. Оператор осуществляет запуск некоторых узлов технологической схемы, осуществляет наблюдение за параметрами процесса, находясь за пультом управления.

Действия оператора:

Оператор, загрузив бункеры загрузки исходными компонентами, включает питание узлов автоматизации реактора плавления и запускает мешалку в реакторе смешения. Через два часа, оператор включает шнек подачи исходной смеси из реактора смешения в реактор плавления, который по окончании подачи выключается автоматически. Также включает нагрев реактора плавления. Поддержка заданной температуры осуществляется автоматически. По окончании процесса плавления и нагрева электролита до 750 °С оператор при помощи вакуумного ковша откачивает порцию электролита и начинает загрузку электролизера, прекращение подачи в электролизер осуществляется по показаниям уровнемера при установлении необходимого уровня. Одновременно с этим оператор открывает вентиль

подачи охлаждающей воды, для создания слоя защитного гарнисажа. После чего заполняет бункер загрузки диоксида титана, включает питание узлов автоматизации и запускает источник питания в электролизере. Через три часа катодный осадок срезается и поступает в бункер приема катодного осадка. Во время срезания катодного осадка происходит унос части электролита из электролизёра, одновременно с этим оператор при помощи вакуумного ковша доливают электролит до уровня. После заполнения бункера катодный осадок отправляется на отмывку. На этом смена оператора заканчивается.

Действия оператора при плановой остановке электролизера:

1. Оператор, выключает источник питания, открывает люк для откачивания электролита. Опускает патрубок вакуумного ковша, после чего происходит откачивание электролита.

2. После удаления электролита из электролизера, оператор поднимает патрубок вакуумного ковша и закрывает люк.

3. Затем оператор откручивает болты крышки электролизёра и при помощи кран балки поднимает крышку вместе с анодами.

4. По окончанию ремонтных работ оператор опускает крышку и закручивает болты. На этом действия оператора при плановой остановке электролизера заканчиваются и можно заново запускать процесс.

Действия оператора при плановой остановке реактора плавления:

1. Оператор, отключает питание реактора смешения и выключает нагрев реактора плавления.

2. Затем оператор при помощи вакуумного ковша откачивает электролит из реактора плавления. После чего выполняются необходимые ремонтные работы.

3. По окончанию ремонтных работ оператор загружает бункеры загрузки исходными компонентами, включает узлы автоматизации реактора плавления и процесс продолжается.

8.6 Заключение по разделу автоматизации

Данный раздел дипломного проекта посвящен проектированию системы автоматизации процесса электролитического получения порошка металлического титана.

В данном разделе были перечислены параметры, подлежащие контролю, регулированию и сигнализации.

Также была составлена функциональная схема автоматизации, на основе которой были подобраны необходимые приборы для контроля, сигнализации и поддержания технологических параметров на заданном уровне.

Разработанная схема автоматизации процесса электролитического получения порошка металлического титана позволяет значительно уменьшить количество персонала, занятого в этом процессе. Это, в свою очередь, позволяет увеличить производительность и минимизировать время пребывания персонала в опасной зоне.

9. 1 Определение баланса времени одного рабочего

Баланс времени одного рабочего устанавливает число дней, подлежащих отработке одним среднесуточным рабочим в год, в зависимости от принятого режима работы цеха, продолжительности работы цеха и продолжительности рабочего дня [44]. Цех будет работать в 3 смены продолжительностью по 8 часов. Работа будет производиться четырьмя производственными бригадами. График сменности рабочих бригад приведен в таблице 11.

Таблица 11 – График сменности бригад

Но мер сме ны	Час ы раб оты	Дни месяца																														
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
1	0-8	А	А	А	Б	Б	Б	В	В	В	Г	Г	Г	А	А	А	Б	Б	Б	В	В	В	Г	Г	Г	А	А	А	Б	Б	Б	В
2	8-16	В	Г	Г	Г	А	А	А	Б	Б	Б	В	В	В	Г	Г	Г	А	А	А	Б	Б	Б	В	В	В	Г	Г	Г	А	А	А
3	16-24	Б	Б	В	В	В	Г	Г	Г	А	А	А	Б	Б	Б	В	В	В	Г	Г	Г	А	А	А	Б	Б	Б	В	В	В	Г	Г
Отдых		Г	В	Б	А	Г	В	Б	А	Г	В	Б	А	Г	В	Б	А	Г	В	Б	А	Г	В	Б	А	Г	В	Б	А	Г	В	Б

Где А, Б, В, Г – бригады.

Необходимо отметить, что так же предусмотрена ремонтная бригада, которая осуществляет все виды работ по ремонту оборудования. Таким образом, число бригад n_{σ} равно четырём, число дней, в которые бригада ходит в смену $T_{\text{н}}$ составит 4 дня. Рассчитаем длительность сменоборота:

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

За длительность сменоборота бригада отдыхает 4 дня, за год 91 день. Таким образом, на одного среднесуточного рабочего приходится 91 выходной день. Составим баланс рабочего времени среднесуточного рабочего, с целью определения фонда рабочего времени. Баланс представлен в таблице 12.

Таблица 12 – Баланс рабочего времени среднесуточного рабочего

Элементы времени	Непрерывное производство, 8-часовой рабочий день, 4 бригады	
	дней	часов
Календарное число дней	365	8760
Выходные дни	91	2184
Номинальный фонд рабочего времени	330	7920
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	3	72
Итого (планируемые невыходы):	40	960
Эффективный фонд рабочего времени	234	5616

Эффективный фонд рабочего времени составит:

$$T_{\text{эф}} = 234 \cdot 8 = 1872 \text{ часа.}$$

9.2 Расчет численности основных рабочих

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 объема работы на управление каждым участком.

1) Определим явочное число основных рабочих в сутки:

$$R_{\text{яв}} = \frac{F \cdot C}{H_{\text{обс}}}; \quad (69)$$

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

F – количество установок;

C – количество смен в сутки.

Учитывая, что работа основных производственных рабочих заключается в наблюдении за ходом процесса, а также, учитывая уровень автоматизации оборудования, цеха, примем 3 человека.

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

Определим списочное число основных рабочих:

$$R_{\text{с}} = R_{\text{яв}} \frac{T_{\text{эф.обор.}}}{T_{\text{эф.раб.}}}; \quad (70)$$

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

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

$$R_{\text{яв}} = 6 \frac{330}{234} = 9 \text{ чел.}$$

Приведем состав рабочего персонала в виде таблицы 13.

Таблица 13 – Численность основных рабочих

Профессия	Тариф разряд	Число рабочих в смену	$R_{\text{яв}}$ в сутки	$R_{\text{сп}}$ в сутки	Число рабочих дней в году	Число рабочих дней оборуд.	Число смен в сутки
Аппаратчик	5	2	4	6	234	330	3
Оператор	6	1	2	3			

9.3 Расчет численности вспомогательного персонала

С учетом специфики данного цеха и приборного оформления комплектуем цех дежурным обслуживающим персоналом в составе:

- дежурный слесарь (тар. разряд 5) – 1
- дежурный электрик (тар. разряд 5) – 1
- дежурный КИПиА (тар. разряд 5) – 1

Списочное число рабочих дежурного персонала:

$$K = \frac{T_{\text{раб.об}}}{T_{\text{раб.дн}}}, \quad (71)$$

$$K = \frac{330}{234} = 1,41.$$

$$R_{\text{яв}} = 3 \cdot 3 = 9 \text{ чел/сут};$$

$$R_{\text{с}} = R_{\text{яв}} \cdot K = 9 \cdot 1,41 = 13 \text{ чел.}$$

Сведем число дежурного персонала в таблице 14.

Таблица 14 – Численность вспомогательного персонала

Профессия	Разряд	Число рабочих в смену	Число смен в сутки	$R_{\text{яв}}$, в сутк и	$R_{\text{сп}}$, в сутк и	Число рабочих дней в году	Число рабочих дней оборуд.
Дежурный слесарь	5	1	3	3	4	234	330
Дежурный электрик	5	1	3	3	4	234	330
Дежурный КИПиА	5	1	3	3	5		

9.4 Расчет численности специалистов, руководителей и служащих

Расчет производится в связи с потребностью участка в каждой группе работников. Численность руководителей, специалистов и служащих представлена в таблице 15.

Таблица 15 – Численность руководителей, специалистов и служащих

Наименование должности	Категория	Количество работников
Начальник цеха	руководитель	1
Технолог цеха	специалист	1
Начальник смены	руководитель	3
Мастер смены	руководитель	3
Начальник участка	руководитель	1
Уборщица	служащий	2
Итого		11

9.5 Расчет годового фонда заработной платы

9.5.1 Расчет фонда заработной платы основных рабочих

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

Основной фонд (ЗП):

$$З_{\text{осн.}} = З_{\text{тар}} + Д_{\text{пр}} + Д_{\text{н.вр.}} + Д_{\text{праз.}} + Д_{\text{вред}}, \quad (72)$$

Где $З_{\text{тар}}$ – тарифный фонд;

$Д_{\text{пр}}$ – доплата премий;

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

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

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

а) Тарифный фонд:

$$З_{\text{тар}} = З_{\text{тар}}^4 + З_{\text{тар}}^5 + З_{\text{тар}}^6, \quad (73)$$

Где $З_{\text{тар}}^4$, $З_{\text{тар}}^5$, $З_{\text{тар}}^6$ – ЗП по тарифным ставкам рабочих различной квалификации.

$$З_{\text{тар}}^i = R_{\text{сп}}^i \cdot T_{\text{эф}} \cdot T_{\text{ст}}^i, \quad (74)$$

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

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

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

Часовая тарифная ставка составляет для работников: 6^{го} разряда – 200 руб/час, 5^{го} разряда – 180 руб/час.

$$З_{\text{тар}}^6 = 3 \cdot 1872 \cdot 200 = 1123200 \text{ руб/год};$$

$$З_{\text{тар}}^5 = 6 \cdot 1872 \cdot 180 = 2021760 \text{ руб/год};$$

$$З_{\text{тар}} = 1123200 + 2021760 = 3144960 \text{ руб/год}.$$

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

$$Д_{\text{н.вр}} = R_{\text{сп}}^i \cdot n_{\text{н.вр}} \cdot T_{\text{ст}}^i \cdot t_{\text{см}} \cdot П, \quad (75)$$

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

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

$П$ – процент отчисления (40%);

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

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

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

в) Доплата премий – 30% от тарифной ЗП:

$$Д_{\text{пр}} = З_{\text{тар}} \cdot 0,3, \quad (76)$$

$$Д_{\text{пр}} = 3144960 \cdot 0,3 = 943488 \text{ руб/год}.$$

г) Доплата за работу в праздничные дни.

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

$$Д_{\text{праз}} = Д_{\text{пр}}^4 + Д_{\text{пр}}^5 + Д_{\text{пр}}^6; \quad (77)$$

$$Д_{\text{праз}}^i = 2 \cdot R_{\text{яв}} \cdot N \cdot T_{\text{ст}}^i \cdot t_{\text{см}}, \quad (78)$$

где N - число праздничных дней в году;

$$D_{\text{праз}}^5 = 4 \cdot 2 \cdot 180 \cdot 12 \cdot 8 = 138240 \text{ руб/год};$$

$$D_{\text{праз}}^6 = 2 \cdot 2 \cdot 200 \cdot 12 \cdot 8 = 76800 \text{ руб/год};$$

$$D_{\text{праз}} = 138240 + 76800 = 215040 \text{ руб/год}.$$

д) Доплата за вредность - 20% от тарифной ЗП:

$$D_{\text{вред}} = Z_{\text{тар}} \cdot 0,2$$

$$D_{\text{вред}} = 3144960 \cdot 0,2 = 628992 \text{ руб/год}.$$

$$Z_{\text{осн}} = 3144960 + 943488 + 435456 + 215040 + 628992 = 5367936 \text{ руб/год}.$$

9.5.2 Расчет фонда дополнительной заработной платы

$$Z_{\text{доп}} = Z_{\text{осн}} \cdot \frac{P_{\text{д.з.}}}{100}, \quad (79)$$

где $P_{\text{д.зп}}$ - процент доплаты (10-12%);

$$Z_{\text{доп}} = 5367936 \cdot \frac{12}{100} = 644152,32 \text{ руб/год}.$$

Годовой фонд заработной платы основных рабочих:

$$Z = Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}} = 5367936 + 644152,32 = 6012088,32 \text{ руб}.$$

Таблица 16 – Расчет годового фонда заработной платы основных рабочих

Категория рабочих	основные	
Система оплаты труда	Повременно-премиальная	
Разряд	5	6
Тарифная ставка, руб/час	180	200
Численность списочных рабочих, чел.	6	3
Фонд рабочего времени, час	1872	
Тарифный фонд, руб/год	3144960	
Доплата за ночное время, руб/год	435456	
Доплата за праздничные дни, руб/год	215040	

Продолжение таблицы 16

Доплата за вредность, руб/год	628992
Доплата премий, руб/год	943488
Основной фонд ЗП, руб/год	5367936
Дополнительный фонд заработной платы, руб/год	644152,32
Годовой фонд заработной платы, руб/год	6012088,32

9.5.3 Расчет фонда заработной платы вспомогательных рабочих

$$З_{\text{общ}} = З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}};$$

$$З_{\text{осн.}} = З_{\text{тар}} + Д_{\text{пр}} + Д_{\text{н.вр.}} + Д_{\text{праз.}} + Д_{\text{вред}},$$

а) Тарифный фонд ЗП вспомогательных рабочих

Часовая тарифная ставка составляет для вспомогательных рабочих 5^{го} разряда – 100 руб/час.:

$$З_{\text{тар}}^i = R_{\text{сп}}^i \cdot T_{\text{эф}} \cdot T_{\text{сп}}^i$$

$$З_{\text{тар}}^5 = 13 \cdot 1872 \cdot 100 = 2433600 \text{ руб/год.}$$

б) Доплата за работу в ночное время:

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

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

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

П – процент отчисления (40%);

$$Д_{\text{н.вр}} = 13 \cdot 81 \cdot 100 \cdot 8 \cdot 0,4 = 336960 \text{ руб/год.}$$

Доплата премий - 30% от тарифной ЗП:

$$Д_{\text{пр}} = 2433600 \cdot 0,3 = 730080 \text{ руб/год.}$$

в) Доплата за работу в праздничные дни.

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

$$Д_{\text{праз}} = 9 \cdot 2 \cdot 100 \cdot 12 \cdot 8 = 172800 \text{ руб/год;}$$

г) Доплата за вредность - 20% от тарифной ЗП:

$$Д_{\text{вред}} = 2433600 \cdot 0,2 = 486720 \text{ руб/год.}$$

$$З_{\text{осн}} = 2433600 + 730080 + 336960 + 172800 + 486720 = 4160160 \text{ руб/год.}$$

9.5.4 Расчет фонда дополнительной заработной платы

$$З_{\text{доп}} = 2433600 \cdot 0,12 = 292032 \text{ руб/год;}$$

Годовой фонд заработной платы вспомогательных рабочих:

$$З = З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}} = 4160160 + 292032 = 4452192 \text{ руб/год.}$$

Таблица 17 – Расчет годового фонда заработной платы вспомогательных рабочих

Категория рабочих	вспомогательные
Система оплаты труда	Повременно - премиальная
Разряд	5
Тарифная ставка, руб/час	100
Численность списочных рабочих, чел.	13
Фонд рабочего времени, час	1872
Тарифный фонд, руб/год	2433600
Доплата за ночное время, руб/год	336960
Доплата за праздничные дни, руб/год	172800
Доплата за вредность, руб/год	486720
Доплата премий, руб/год	730080
Основной фонд заработной платы, руб/год	4160160
Дополнительный фонд заработной платы, руб/год	292032
Годовой фонд заработной платы, руб/год	4452192

9.5.5 Расчет годового фонда заработной платы руководителей, специалистов и служащих

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

Начальник цеха - 60000 руб.

Технолог - 50000 руб.

Начальник участка - 48000 руб.

Начальник смены - 45000 руб.

Мастер смены - 40000 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.

$$\Phi_{\text{осн}} = 1 \cdot 11 \cdot 60000 + 1 \cdot 11 \cdot 50000 + 1 \cdot 11 \cdot 48000 + 3 \cdot 11 \cdot 45000 + 3 \cdot 11 \cdot 40000 + 2 \cdot 11,3 \cdot 13000 = 4836800 \text{ руб.}$$

б) Основная ЗП вычисляется по формуле:

$$З_{\text{осн}} = З_{\text{тар}} + Д_{\text{п.дн}} + Д_{\text{вред}}; \quad (80)$$

где $Д_{\text{вред}} = 0,2 \cdot З_{\text{тар}} \cdot Р_{\text{яв}}$

$$Д_{\text{п.дн}} = \frac{T_{\text{окл}}}{27,5} \cdot N \cdot Р_{\text{яв}},$$

27,5 – среднемесячное количество рабочих часов,

N – количество праздничных дней в году (равное 12),

$$Д_{\text{п.дн}}^{\text{н.цеха}} = \frac{60000}{27,5} \cdot 12 \cdot 1 = 26182 \text{ руб.},$$

$$Д_{\text{вред}}^{\text{н.цеха}} = 0,2 \cdot 60000 \cdot 1 = 12000 \text{ руб.},$$

$$Д_{\text{п.дн}}^{\text{техн}} = \frac{50000}{27,5} \cdot 12 \cdot 1 = 21819 \text{ руб.},$$

$$Д_{\text{вред}}^{\text{техн}} = 0,2 \cdot 50000 \cdot 1 = 10000 \text{ руб.},$$

$$D_{п.дн}^{н.уч} = \frac{48000}{27,5} \cdot 12 \cdot 1 = 20946 \text{ руб.},$$

$$D_{вред}^{н.уч} = 0,2 \cdot 48000 \cdot 1 = 9600 \text{ руб.},$$

$$D_{п.дн}^{н.смены} = \frac{45000}{27,5} \cdot 12 \cdot 3 = 58909 \text{ руб.},$$

$$D_{вред}^{н.смены} = 0,2 \cdot 45000 \cdot 3 = 27000 \text{ руб.},$$

$$D_{п.дн}^{м.смены} = \frac{40000}{27,5} \cdot 12 \cdot 3 = 52364 \text{ руб.},$$

$$D_{вред}^{м.смены} = 0,2 \cdot 40000 \cdot 3 = 24000 \text{ руб.},$$

$$D_{п.дн}^{убор} = \frac{13000}{27,5} \cdot 12 \cdot 2 = 11346 \text{ руб.},$$

$$D_{вред}^{м.смены} = 0,2 \cdot 13000 \cdot 2 = 5200 \text{ руб.},$$

$$Z_{осн} = 4836800 + 26182 + 21819 + 20946 + 58909 + 52364 + 11346 + 12000 + 10000 + 9600 + 27000 + 24000 + 5200 = 5116166 \text{ руб.}$$

в) Дополнительная ЗП:

Принимается в размере 10 - 12% от основной ЗП:

$$Z_{доп} = 5116166 \cdot 0,1 = 511616,6 \text{ руб.}$$

г) Годовой фонд заработной платы:

$$\Phi_{зп} = 5116166 + 511616,6 = 5627782,6 \text{ руб.}$$

Общий фонд заработной платы:

$$\Phi_{общ} = Z_{осн. раб} + Z_{всп. раб} + Z_{ИТР и МОП}$$

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

Категория	Наименование должности	Число ед.	$Z_{тар}$, руб./год	$Z_{осн}$, руб./год	$Z_{доп}$, руб./год	$Z_{год}$, руб./год
Руководители, специалисты	Начальник цеха	1	660000	698182	69818	768000
	Технолог	1	550000	581819	58182	640001
	Начальник участка	1	528000	558546	55855	614401

Продолжение таблицы 18

	Начальник смены	3	1485000	1570909	157091	1728000
	Мастер смены	3	1320000	1396364	139637	1536001
Прочий персонал	Уборщица	2	286000	302546	30255	332801
Итого		11	4829000	5108366	510838	5619204

$$\Phi_{\text{общ}} = 6012088,32 + 4452192 + 5619204 = 16083484,32 \text{ руб.}$$

9.6 Расчет капитальных затрат

Расчет капитальных затрат на здание ведется по формуле:

$$C_{\text{зд}} = C + C_{\text{от}} + C_{\text{вен}} + C_{\text{вод}} + C_{\text{кан}} + C_{\text{осв}}; \quad (81)$$

где C – стоимость помещения, руб.;

$C_{\text{от}}$ – стоимость затрат на отопление, руб.;

$C_{\text{вен}}$ – стоимость затрат на вентиляцию, руб.;

$C_{\text{вод}}$ – стоимость затрат на водопровод, руб.;

$C_{\text{кан}}$ – стоимость затрат на канализацию, руб.;

$C_{\text{осв}}$ – стоимость затрат на освещение, руб.

$$C = C_{\text{1куб.м}} \cdot V_{\text{зд}}; \quad (82)$$

где $C_{\text{1куб.м}}$ – стоимость 1 м³ здания;

$V_{\text{зд}}$ – объем здания, м³.

Выбираем под цех каркасное здание: длина – 24 м, ширина – 12 м, высота – 7 м. Производственная площадь – 288 м²; Стоимость конструкции здания (изготовление комплекта с завода) – 4308028 руб. Дополнительные услуги (ворота, двери, монтаж здания, фундаментные работы) – 4512771 руб. Итого стоимость здания и дополнительных услуг составит: 8820799 руб.

Таблица 19 – Затраты на санитарно-технические работы

Затраты	% от затрат на постройку здания	Цена, руб.
на отопление	5	441040
на вентиляцию	5	441040
на водопровод	3	264624
на канализацию	3	264624
на освещение	2	176416
Итого:	18	1587744

$$C_{зд} = C + \sum C_{затр} = 8820799 + 1587744 = 10408543 \text{ руб.}$$

9.7 Расчет затрат на материалы и оборудование

Таблица 20 – Стоимость материалов

Изделие	Количество	Цена р.	Стоимость
Стальной лист (т)	8,64	40350	348624
Шина медная (кг)	95	650	61750
Стальной катод (шт.)	12	7200	86400
Графитовый анод (кг)	290,7	55	15988,5
Катодный вал(шт.)	4	1650	6600
Провода (м)	15	150	2250
Подшипник (шт)	8	4950	39600
Приемник катодного осадка (шт)	8	6815	54520
Штуцер с фланцем (шт)	52	450	23400
Сумма			639132,5

Исходя из таблицы 20 рассчитаем затраты по формуле:

$$C_{\text{мат}} = S \cdot R_{\text{м}}, \quad (83)$$

где: $R_{\text{м}}$ – коэффициент, учитывающий транспортные расходы ($R_{\text{м}}=1,05$)

$$C_{\text{мат}} = 639132,5 \cdot 1,05 = 671089,13 \text{ р.}$$

Зная затраты на материалы можно рассчитать затраты на сборку электролизеров.

$$C_{\text{сб}} = C_{\text{мат}} \cdot R_{\text{с}}, \quad (84)$$

где: $R_{\text{с}}$ – коэффициент, учитывающий расходы по сборке оборудования ($R_{\text{с}}=1,5$)

$$C_{\text{сб}} = 671089,13 \cdot 1,5 = 1006633,69 \text{ р.}$$

Тогда стоимость электролизеров будет равна:

$$C_{\text{эл}} = C_{\text{мат}} + C_{\text{сб}}, \quad (85)$$

$$C_{\text{эл}} = 671089,13 + 1006633,69 = 1677722,82 \text{ р.}$$

Общие затраты на оборудование представлены в таблице 21.

Таблица 21 – Затраты на оборудование

Оборудование	Количество	Цена р.	Стоимость
Электролизеры (шт.)	4	419430,703	1677722,8
Источник тока (шт.)	2	5700000	11400000
Двигатель катодного вала (шт.)	4	6500	26000
Бункер шнекового питателя	4	15000	60000
Шнековый питатель	4	157200	628800
Сумма			1 3103 722,8

9.8 Расходы на содержание здания

Затраты на содержание здания составляют 2 % от стоимости здания:

$$З_{\text{сод}} = 10408543 \cdot 0,02 = 208170,86 \text{ руб./год.}$$

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

$$З_{\text{т.р}} = 10408543 \cdot 0,02 = 208170,86 \text{ тыс.руб./год.}$$

Амортизационные отчисления на здание.

$$A_{\text{зд}} = C_{\text{зд}} \cdot \frac{1}{\alpha}, \quad (86)$$

где α - срок полезного использования здания = 30 лет.

$$A_{\text{зд}} = 10408543 \cdot \frac{1}{30} = 346951,44 \text{ руб./год.}$$

Таким образом, сумма затрат на содержание и эксплуатацию здания:

$$\Sigma Z_1 = 208170,86 + 208170,86 + 346951,44 = 763293,16 \text{ руб./год.}$$

9.9 Расходы на содержание и эксплуатация оборудования

Ремонтный фонд составляет 15 % от стоимости оборудования:

$$\Phi_{\text{т.р}} = 13103722,8 \cdot 0,15 = 1965558,42 \text{ руб./год.}$$

Расходы на содержание составляют 5 % от стоимости оборудования:

$$Z_{\text{сод}} = 13103722,8 \cdot 0,05 = 655186,14 \text{ руб./год.}$$

Отчисления на амортизацию оборудования.

Амортизация оборудования - 10 % от стоимости оборудования:

$$A_{\text{об}} = 13103722,8 \cdot 0,1 = 1310372,28 \text{ руб./год.}$$

Сумма расходов на содержание и эксплуатацию оборудования:

$$\Sigma Z_2 = 1965558,42 + 655186,14 + 1310372,28 = 3931116,84 \text{ руб./год.}$$

9.10 Расходы на технологические нужды

Затраты на электроэнергию.

$$Z_{\text{эл}} = C_{\text{эл}} \cdot W \cdot T_{\text{р.обор}}, \quad (87)$$

Где $C_{\text{эл}}$ - стоимость 1 кВт·ч электроэнергии, руб. (2,93 руб.);

W - потребляемая мощность, кВт;

$T_{\text{р.обор}}$ - время работы оборудования в год ($330 \cdot 24 = 7920$ ч.).

Общее количество электроэнергии затрачиваемое всеми 4 ваннами на получение титана:

$$W_{\text{общ.}} = I_{\text{пр.}} \cdot U_{\text{ван.}} \quad (88)$$

где $U_{\text{ван}} = U_{\text{э}} \cdot K$,

$U_{\text{э}}$ – напряжение электролизера, 4,5 В,

K – коэффициент, учитывающий потери напряжения в ошиновке, $K=1,15$,

$I_{пр.}$ – сила тока на всех ваннах, $I_{пр.}=97866$ А.

$$U_{ван} = 4,5 \cdot 1,15 = 5,175$$

$$W_{общ.} = 97866 \cdot 5,175 = 506456,55 \text{ Вт/ч} = 506,45 \text{ кВт/ч.}$$

Так же для подачи аргона используется насос мощностью 1 кВт/ч. Для подачи воды в рубашку охлаждения используется центробежный насос с потребляемой мощностью 1,2 кВт/ч.

$$З_{эл} = 2,93 \cdot (506,45 + 1 + 1,2) \cdot 7920 = 11803528,44 \text{ руб/год.}$$

Затраты на освещение.

$$W_{осв} = \frac{15 \cdot S_{п} \cdot M \cdot t}{1000}, \quad (89)$$

где 15 - количество Ватт на 1 м² пола;

$S_{п}$ - площадь пола, м²;

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

t - число дней работы производства в году.

$$W_{осв} = \frac{15 \cdot 500 \cdot 24 \cdot 330}{1000} = 59400 \text{ кВт/год,}$$

$$З_{осв} = 59400 \cdot 2,93 = 174042 \text{ руб/год.}$$

Затраты на вентиляцию.

В помещении установлена общеобменная приточно - вытяжная вентиляция.

$$W_{вент} = P_{э.д.} \cdot 24 \cdot t, \quad (90)$$

где $P_{э.д.}$ – мощность электродвигателя вентиляции, кВт; установим в цехе вентиляторы в количестве 4 штук, ($P_{э.д.} = 4$ кВт).

$$W_{вент} = 4 \cdot 4 \cdot 24 \cdot 330 = 126720 \text{ кВт/год.}$$

$$З_{вент} = 126720 \cdot 2,93 = 371289,6 \text{ руб/год.}$$

Затраты на ОТ и ТБ.

Затраты, связанные с организацией труда и техникой безопасности, принимаются равными 15 % от полного годового фонда заработной платы:

$$З_{ОТиТБ} = 16083484,32 \cdot 0,15 = 2412522,65 \text{ руб/год.}$$

Отчисления на социальные нужды.

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

$$З_{\text{соц}} = 16083484,32 \cdot 0,3 = 4825045,3 \text{ руб./год.}$$

9.11 Калькуляция себестоимости передела

Таблица 22 – Калькуляция стоимости передела

Статьи затрат	Ед. измер.	Цена ед. прод., руб.	Норма в год	Сумма руб./год
TiO ₂	т	240000	399,168	95 800 320
Графит	т	55000	74,25	408 3750
KCl	кг	87	721,93	62 807,91
KF	кг	120	1127,8	135 336
K ₂ TiF ₆	кг	628	1453,27	912 653,56
Электроэнергия на тех. нужды	кВт	2,93	4214628	12 348 860,04
Итого условно-переменные затраты				113 343 727,5
Фонд ЗП:основных рабочих	руб.			6 012 088,32
ИТР,служащих,пр.персонала	руб.			5 619 204
вспомогательных рабочих	руб.			4 452 192
Отчисления на соц. нужды	руб.			4 825 045,3
Расходы на содержание и эксплуатацию оборудования:				
амортизация оборудования	руб.			1 310 372,28

Продолжение таблицы 22

тек. и кап. ремонты	руб.			1 965 558,42
содержание оборудования	руб.			6 55 186,14
Цеховые расходы:				
амортизация здания	руб.			3 46 951,44
содержание здания	руб.			655 186,14
тек. и кап. ремонты	руб.			1 965 558,42
расходы на ОТ и ТБ	руб.			2 412 522,65
Итого условно-постоянные затраты				30 219 865,11
Итого себестоимость передела				143 563 592,6

Таким образом, себестоимость передела составляет 143 563 592,6 рублей в год. При этом основная доля, равная 70 % приходится на сырьё и материалы. На содержание и эксплуатацию оборудования направляется 3 %, на долю оплаты труда и социальные нужды – 14%. Затраты на содержание и эксплуатацию здания составляют 2 % от общих затрат. 2 % затрат направляется на нужды связанные с организацией труда и техникой безопасности и 9 % приходится на электроэнергию расходуемую на технологические нужды. Диаграмма себестоимости приведена на рисунке 18.

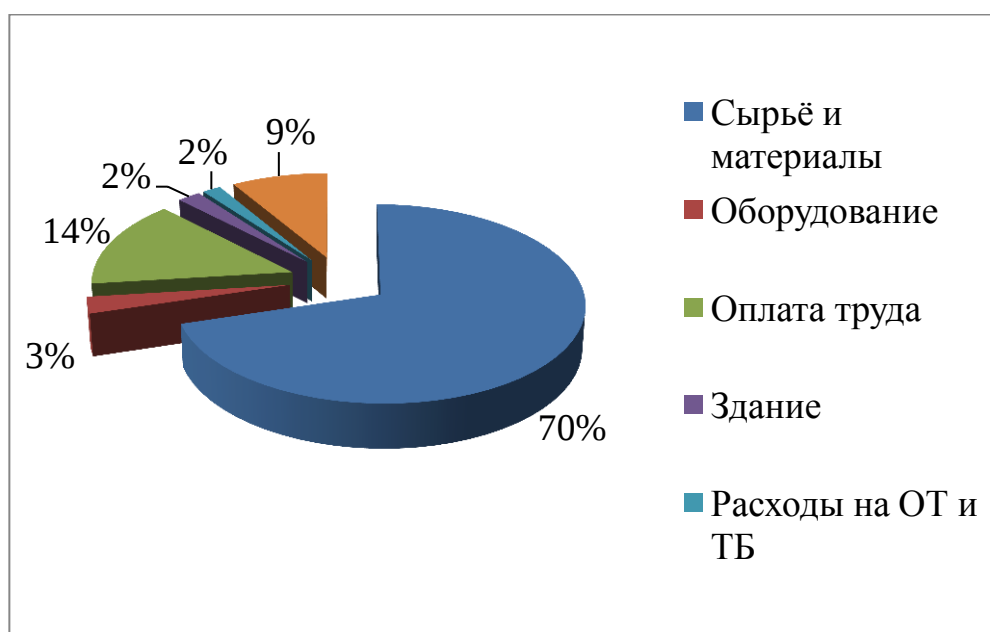


Рисунок 18 – Диаграмма основных затрат

Рассчитаем удельную себестоимость килограмма титанового порошка, разделив себестоимость передела, за вычетом затрат на диоксид титана, на годовую производительность:

$$C_{уд} = \frac{C_{уд.пер} - C_{TiO_2}}{237600}, \quad (91)$$
$$C_{уд} = \frac{143\,563\,592,6 - 95\,800\,320}{237600} = 201,02 \text{ руб/кг.}$$

Применение данной технологии позволит уменьшить количество стадии получения металлического титана, в сравнении с методом Кроля, что в значительной мере снизит себестоимость получаемого конечного продукта, а также приведет к уменьшению вредных выбросов в атмосферу. Наряду с этим за счет автоматизации процесса уменьшится количество основных рабочих и сократится время выполнения технологических операции.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения данного дипломного проекта были достигнуты следующие результаты:

1. Разработана принципиальная технологическая схема получения порошка металлического титана из фторидно-хлоридных расплавов;
2. Предложено аппаратное оформление к представленной принципиальной технологической схеме;
3. Рассчитан материальный и тепловой баланс электролизера;
4. Сконструирован и рассчитан основной аппарат – электролизер;
5. Разработана функциональная схема автоматизации, упрощающая управление процессом и сокращающая численность обслуживающего персонала;
6. Представлены основные размеры здания, произведено планирование помещений и размещение оборудования;
7. Рассмотрены вопросы обеспечения безопасного ведения работ в спроектированном цеху;
8. Произведены расчёты основных технико-экономических показателей, которые подтверждают эффективность и перспективность данного проекта.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Тарабаев М.В. Электролитическое восстановление титана из оксидного сырья в расплаве хлорида кальция: дис. ... канд. технических наук : 05.16.02 / Ур. гос. техн. ун-т. – Екатеринбург, 2008.- 137 с.: ил. РГБ ОД, 61 09-5/502.
- 2 Карелин , Владимир Александрович. Перспективные технологии получения титана: учебное пособие / В.А . Карелин , А.В . Дубровин , Ф.А. Ворошилов; Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ). – Томск: Изд-во ТПУ, 2013. – С. 108-110.
- 3 Recent improvements for electrowinning titanium metal from composite anodes [Online] / auth. C. James // François CARDARELLI. - 2004. - Октябрь 15, 2016. - http://www.francoiscardarelli.ca/PDF_Files/Article_Cardarelli_MER_Process.pdf.
- 4 Osaki S., Sakai H., Suzuki R.O. Direct Production of Ti–29Nb–13Ta–4,6Zr Biomedical Alloy from Oxide Mixture in Molten CaCl₂. – J. Electrochemical Society. – 2010. – V. 157 (8) E. – P. 117–121.
- 5 Turner P. C., Hartman A. D., Hansen J. S., Gerdemann S. J. Low cost titanium-myth or reality. 2001. [elektronik resource]. URL: <http://www.osti.gov/scitech/biblio/899609>. [Дата обращения: 16 Февраль 2016].
- 6 Гармата В.А. Металлургия титана / В.А. Гармата. – М.: Металлургия, 1968. – 643 с.
- 7 Girginov A., Tzvetkoff T. and Bojinov M. Electrodeposition of refractory metals (Ti, Zr, Nb, Ta) from molten salts electrolytes // Journal of applied electrochemistry. – Vol. 25. – 1995. – P. 993-1003.
- 8 Иванов А.И. Некоторые физико-химические характеристики материалов и процессов электролитического производства титана /А. И. Иванов В.Г. Гопиенко // Труды ВАМИ, № 40. 1957. – С. 365-371.
- 9 Диаграммы плавкости солевых систем. Тройные взаимные системы / под ред. В. И. Посыпайко и Е. А. Алексеевой. – М.: Химия, 1977. – 392 с.

10 Фокин М.Н., Рускол Ю.С. Титан и его сплавы в химической промышленности. – Л.: Химия, 1978. – 199 с.

11 Ягодин Г.А. и др. Технология редких металлов в атомной технике: учебное пособие для вузов / Г.А. Ягодин, О.А. Синегрибова, А.М. Чекмарев; под ред. Б. В. Громова. – М.: Атомиздат, 1974. – 344 с.

12 Троицкий И.А. Металлургия алюминия: учеб. пособие для техникумов цв. металлургии / И. А. Троицкий, В. А. Железнов. – 2-е изд., доп., перераб. – М.: Металлургия, 1984. – 400 с.

13 Дытнерский Ю.И., Борисов Г.С., Бырков В.П. Основные процессы и аппараты химической технологии : пособие по проектированию / Г. С. Борисов, В. П. Брыков, Ю. И. Дытнерский и др.; под ред. Ю. И. Дытнерского. – 2-е изд., перераб. и дополн. – М.: Химия, 1991. – 496 с.

14 Баймаков Ю.В., Жулин А.И. Электролиз в гидрометаллургии. – М.: Metallurgizdat, 1963. – 616 с.

15 Лащинский А.А. Основы конструирования и расчета химической аппаратуры : справочник / А. А. Лащинский, А. Р. Толчинский. – 3-е изд., стер. – Москва : Альянс, 2008. – 752 с.

16 Дворецкий С.И. Основы проектирования химических производств / С. И. Дворецкий, Г.С. Кормилицын. – М.: Машиностроение-1, 2005. – 280 с.

17 Кузнецов А. Т. Основы строительного дела / А. Т. Кузнецов. – М.: Высшая школа, 1968. – 238 с.

18 Постановление Правительства РФ. Об утверждении Положения о разработке, утверждении и изменении нормативных правовых актов, содержащих государственные нормативные требования охраны труда: утв. 27 декабря 2010 г., № 1160 (в ред. Постановлений Правительства РФ от 25.03.2013 N 257, от 30.07.2014 N 726) // Собрание законодательства. – 2010. – С. 342.

19 Коробко В. И. Охрана труда: учебное пособие / В.И. Коробко. – Москва : ЮНИТИ-ДАНА, 2012. – 239 с.