

**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/РАБОТА**

Тема работы
<b>Проект установки отмывки электролитического порошка титана от фторидных солей электролита производительностью 30 кг/час</b>

УДК 546.161.541.127/127.4

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0412	Чередниченко Константин Сергеевич		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор кафедры ХТРЭ	Карелин Владимир Александрович	д.т.н., профессор		

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

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

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент кафедры ХТРЭ	Акимов Дмитрий Васильевич			

По разделу «Автоматизация процесса»

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

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Заведующий кафедрой ХТРЭ	Крайденко Роман Иванович	д.х.н.		

Томск – 2017 г.

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

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
<i>Профессиональные компетенции</i>	
Р1	Демонстрировать глубокие естественнонаучные, математические и инженерные знания и детальное понимание научных принципов профессиональной деятельности
Р2	Ставить и решать инновационные задачи, связанные с получением и переработкой материалов и изделий ядерного топливного цикла, с использованием моделирования объектов и процессов химической технологии материалов современной энергетики
Р3	Эксплуатировать и совершенствовать действующие, разрабатывать и внедрять новые современные высокотехнологичные процессы и линии автоматизированного производства, обеспечивать их высокую эффективность, контролировать расходование сырья, материалов, энергетических затрат
Р4	Обеспечивать радиационную безопасность, соблюдать правила охраны здоровья и труда при проведении работ, выполнять требования по защите окружающей среды; оценивать радиационную обстановку; осуществлять контроль за сбором, хранением и переработкой радиоактивных отходов различного уровня активности с использованием передовых методов обращения с РАО
Р5	Уметь планировать и проводить аналитические, имитационные и экспериментальные исследования в области изучения свойств и технологии материалов современной энергетики с использованием новейших достижения науки и техники; использовать основы изобретательства, правовые основы в области интеллектуальной собственности
Р6	Разрабатывать новые технологические схемы, рассчитывать и выбирать оборудование, применять средства автоматизации, анализировать технические задания и проекты с учетом ядерного законодательства
<i>Универсальные компетенции</i>	
Р7	Представлять современную картину мира на основе целостной системы естественнонаучных и математических знаний, ориентироваться в ценностях бытия, жизни, культуры; иметь широкую эрудицию, в том числе знание и понимание современных общественных и политических проблем
Р8	Воспринимать, обрабатывать, анализировать и обобщать научно-техническую информацию, передовой отечественный и зарубежный опыт в области изучения свойств, методов и технологий получения и переработки материалов современной энергетики
Р9	Применять иностранный язык в сфере коммуникаций и профессиональной деятельности, представлять результаты научных исследований и разработок в виде отчетов, публикаций, публичных обсуждений
Р10	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
Р11	Понимать необходимость и уметь самостоятельно учиться и повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности

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

Институт: Физико-технический

Направление подготовки (специальность): 240601 Химическая технология материалов современной энергетики

Кафедра: «Химическая технология редких, рассеянных и радиоактивных элементов»

УТВЕРЖДАЮ:

Зав. кафедрой

\_\_\_\_\_  
 (Подпись) (Дата) Р.И. Крайденко

**ЗАДАНИЕ  
 на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

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

Студенту:

Группа	ФИО
0412	Чередниченко Константину Сергеевичу

Тема работы:

<b>Проект установки отмывки электролитического порошка титана от фторидных солей электролита производительностью 30 кг/час</b>	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	

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

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<b>Исходные данные к работе</b>	<b>Состав катодного осадка: KF, KCl, K<sub>2</sub>TiF<sub>6</sub>. Соотношение компонентов в катодном осадке: 0,31 KF; 0,48 KCl; 0,06 K<sub>2</sub>TiF<sub>6</sub>; 0,15 Ti.</b>
<b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b>	<b>Введение 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</b>

	<b>4. Аппаратный расчет. Расчет геометрии и габаритов аппаратов технологической схемы</b> <b>5. Автоматизация процесса</b> <b>6. Строительная часть</b> <b>7. Социальная ответственность</b> <b>8. Экономическая часть</b> <b>Заключение</b>
<b>Перечень графического материала</b>  <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	1. Блок-схема с материальными потоками. 2. Аппаратурно-технологическая схема. 3. План размещения оборудования. 4. 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	<b>Тухватулина Лилия Равильевна</b>
Социальная ответственность	<b>Акимов Дмитрий Васильевич</b>
Автоматизация процесса	<b>Вильнина Анна Владимировна</b>

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

### Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор кафедры ХТРЭ	Карелин В.А.	Д.т.н., профессор		

### Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0412	Чередниченко Константин Сергеевич		

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

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

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 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 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 23838-89 Здания предприятий. Параметры.

СП 56.13330.2011 Производственные здания.

СП 29.13330.2011 Полы.

СП 30.13330.2012 Внутренний водопровод и канализация зданий.

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

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

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

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

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

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

ГОСТ 12.4.010-75 ССБТ. Средства индивидуальной защиты. Рукавицы специальные. 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 24.303-80 Система технической документации на АСУ. Обозначения условные графические технических средств.

## Реферат

Выпускная квалификационная работа в форме дипломного проекта 119 с., 24 рис., 23 табл., 46 источников, 2 приложения.

Ключевые слова: электролиз, катодный осадок, отмывка.

Цель работы – спроектировать цех для проведения процесса отмывки титанового порошка.

Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики: Объем и габаритные размеры основного аппарата составляют:  $V = 0,25 \text{ м}^3$ ,  $D = 0,8 \text{ м}$ ,  $H = 1,8 \text{ м}$ .

Степень внедрения: проект находится на стадии разработки.

Область применения: Химическая технология редких металлов.

Экономическая эффективность/значимость работы: Капитальные затраты составляют – 195527548,4 рублей; экономический эффект – снижение себестоимости титанового порошка и увеличение прибыли.

В будущем планируется улучшение технологической схемы, подбор оптимальных параметров для проведения процесса отмывки титанового порошка.

## Оглавление

Введение.....	11
1 Аналитический обзор существующих методов получения титана.....	12
1.1 Металлотермические методы восстановления титана .....	12
1.1.1 Восстановление низших галогенидов титана.....	12
1.1.2 Восстановление предварительно спечённой заготовки–брикета (PRP – процесс) .....	13
1.1.3 Восстановление паров $TiCl_4$ натрием (Armstrong – процесс).....	14
1.1.4 Термическое восстановление хлоридов титана натрием (Hunter – процесс) .....	16
1.1.5 Термическое восстановление хлоридов титана магнием.....	18
(Kroll – процесс) .....	18
1.2 Электролитические методы получения титана.....	22
1.2.1 Процесс электролиза и кальциетермического восстановления смеси оксидов (Osaka – процесс).....	22
1.2.2 Электролиз брикетированного $TiO_2$ (MER – процесс).....	23
1.2.3 Электрохимическое восстановление титана (FFC – процесс).....	24
1.2.4 Электролиз карбида титана (USTB – процесс) .....	26
1.3 Фторидно – хлоридная технология получения титана.....	27
2 Расчеты и аналитика .....	30
2.1 Теории процесса отмывки катодного осадка .....	30
2.2 Принципиальная технологическая схема отмывки порошка титана.....	32
2.3 Аппаратурно-технологическая схема отмывки порошка титана.....	33
2.4 Схема основного аппарата-растворителя .....	36
3. Результаты раздела расчеты и аналитика .....	38
4. Автоматизация процесса отмывки титанового порошка .....	39
4.1 Описание аппаратурно-технологической схемы процесса.....	39
4.2 Составление функциональной схемы автоматизации.....	39
4.3 Описание функциональной схемы автоматизации.....	40

4.4	Запуск процесса отмывки .....	42
4.5	Остановки процесса отмывки .....	43
4.6	Перечни технологических параметров, подлежащих контролю, регулированию и сигнализации.....	44
4.7	Перечень первичных преобразователей, использованных в проекте.....	46
5.	Строительная часть .....	49
5.1	Основные параметры здания.....	49
5.2	Основание .....	49
5.3	Фундамент и колонны .....	49
5.4	Наружные стены.....	50
5.5	Полы .....	50
5.6	Окна, двери, ворота.....	51
5.7	Водоснабжение .....	51
5.8	Водоотведение .....	52
7	Экономическая часть .....	53
7.1	Расчет капитальных затрат на здание.....	53
7.2	Расчет численности работающих .....	55
7.3	Расчет годового фонда заработной платы основных рабочих .....	58
7.4	Расчет годового фонда заработной платы ИТР, служащих и прочего персонала.....	60
7.5	Общепроизводственные расходы .....	62
7.5.1	Расходы на содержание здания.....	62
7.5.2	Расходы на содержание оборудования .....	62
7.6	Расчет технологических затрат.....	63
7.6.1	Затраты на электроэнергию.....	63
7.6.2	Затраты на освещение.....	63
7.6.3	Затраты на вентиляцию .....	64
7.6.4	Затраты на отопление .....	64
7.7	Затраты на ОТ и ТБ.....	65
7.8	Отчисления на социальные нужды .....	65

7.9 Калькуляция себестоимости передела.....	65
7.10 Анализ безубыточности.....	66
7.11 Вывод по разделу .....	68
Заключение .....	69
Список использованных источников .....	70

Приложение А

Приложение Б

Графический материал на отдельных листах:

ДП ФЮРА.0412198.011 ПТС	Принципиальная технологическая схема
ДП ФЮРА.0412198.011 АТС	Аппаратурная технологическая схема
ДП ФЮРА.0412198.011 ПРО	План размещения оборудования
ДП ФЮРА.0412198.011 ПРЦ	Поперечный разрез цеха
ДП ФЮРА.0412198.011 СБ	Сборочный чертеж
ДП ФЮРА.0412198.011 ТЭП	Технико-экономические показатели

## **Введение**

В современном мире титан занимает лидирующее место в использовании его в различных областях науки и техники. Все благодаря ряду ценных свойств: высокая прочность, химическая стойкость в агрессивных средах, жаростойкость. Будущее, как конструкционному материалу, принадлежит титану в сфере авиастроения, транспортного машиностроения, судостроения и всех тех отраслей производства, где требуется металл высокой прочности и малого веса.

Основной технологией получения титана является Kroll – процесс. Большое количество предложенных технологий направлено на уменьшение себестоимости титана относительно Kroll – процесса.

Фактически, классическая технология устарела, очевидна необходимость разработки новых методов для снижения себестоимости титана. В Томском политехническом университете разработана хлоридно-фторидная технология получения титанового порошка. Эта технология относится к электролитическим методам получения титана. Главным недостатком этих методов является дорогостоящая отмывка катодного осадка от солей электролита.

В данном дипломном проекте разработана технология отмывки электролитического порошка титана от фторидных солей электролита, полученного по хлоридно-фторидной технологии. Благодаря такой технологии отмывки титанового порошка происходит существенное снижение себестоимости титана.

Цель работы: спроектировать цех для проведения процесса отмывки титанового порошка.

Областью применения данного проекта является химическая технология редких металлов.

# 1 Аналитический обзор существующих методов получения титана

## 1.1 Металлотермические методы восстановления титана

### 1.1.1 Восстановление низших галогенидов титана

В настоящее время данный процесс является новинкой, но он позволяет усовершенствовать традиционный Kroll – процесс: сделать его непрерывным и увеличить скорость проведения. Так как в Kroll – процессе реакция восстановления экзотермична, процесс идет медленно, чтобы контролировать температуру, а охлаждение реактора продолжается в течение нескольких дней.

В данной технологии в качестве материала реактора можно использовать металлический титан, так как низшие галогениды титана находятся с ним в равновесии.

Стадии предлагаемого процесса представлены на следующей схеме [6].

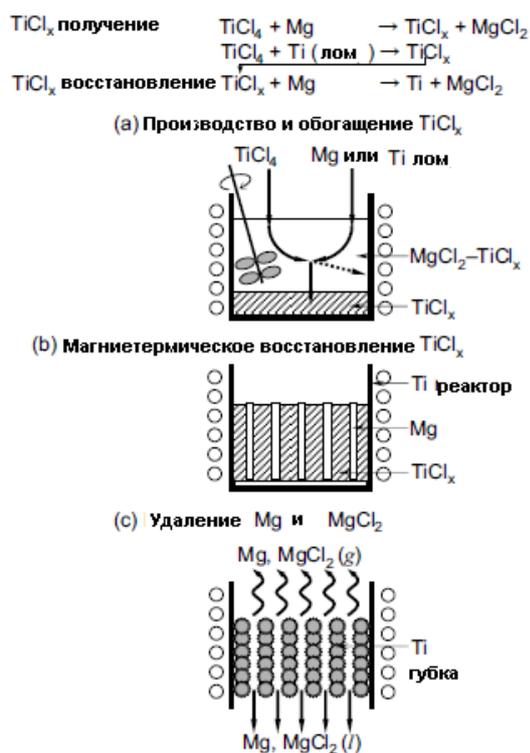


Рисунок 1.1 – Стадии восстановления титана из низших галогенидов

Исходным материалом является  $\text{TiCl}_4$ , который восстанавливается до низших хлоридов. Далее низшие хлориды смешиваются с расплавом магния и загружаются в реактор, и проводится процесс восстановления.

Полученный титан возможно сразу направить на переплавку без дробления и получить слитки. Продукт не загрязнен кислородом и железом.

Достоинства:

1. Полунепрерывный и высокоскоростной процесс.
2. Экологически чистое производство.
3. Меньшие размеры реактора относительно Kroll – процесса.
4. Меньшие энергозатраты.

Недостатки:

1. Материал реактора – титан, что увеличивает его стоимость.
2. Нужен синтез низших галогенидов титана.

### 1.1.2 Восстановление предварительно спечённой заготовки–брикета (PRP – процесс)

Процесс восстановления предварительно спеченной заготовки – брикета был разработан в Великобритании. Исходный материал, который содержит  $TiO_2$ , сначала прессуется в брикеты, затем помещается в герметичную реторту. Под ретортой находится восстановитель – кальций или сплав кальция. Реторта подвергается нагреву и происходит процесс восстановления титана.

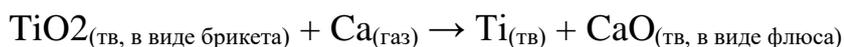


Схема PRP – процесса представлена на следующем рисунке [5].

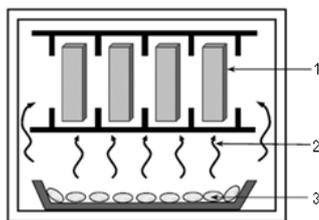


Рисунок 1.2 Схема PRP – процесса

1 – исходный брикет (исходный  $TiO_2$  плюс флюс), 2 – пары восстановителя, 3 – восстановитель кальций.

Исходное сырье брикетируют и обжигают в печи при температуре 1273 К, чтобы избавиться от примесей. Металлический Са, в виде гранул, загружается в пространство под ретортой, в нижней части реактора. При этой же температуре проходит процесс восстановления. Восстановленный титан выщелачивают 50% - ной уксусной кислотой и 20% - ной соляной кислотой.

Преимущества:

1. Возможность использовать как в лабораториях, так и в промышленности.
2. Продукт не подвержен загрязнению от стенок реактора.
3. Экологически чистый метод.
4. хорошо удаляется железо при обжиге.
5. содержание титана в продукте достигает до 99%.

Недостатки:

1. Требуется процесс выщелачивания титана.
2. Трудность перевода кальция в пары.

### **1.1.3 Восстановление паров $TiCl_4$ натрием (Armstrong – процесс)**

Так называемый Armstrong – процесс является идентичным Hunter – процессу, но имеет свои преимущества. Здесь происходит восстановление титана следующим образом. Пары  $TiCl_4$  смешиваются с потоком расплавленного натрия. В результате реакции выделяется большое количество тепла, и продукт представлен в виде расплава.



Получившийся продукт в виде порошка титана отделяется от избытка  $NaCl$ , который находится в расплаве. Возможно использовать два метода разделения. В первом методе разделение проходит в последовательно расположенных аппаратах. Второй метод заключается в том, что заранее используют малое соотношение  $TiCl_4$  и  $Na$ . Продукты далее отмываются от остатков хлорида натрия растворами спирта. Схема процесса представлена на следующем рисунке [7].

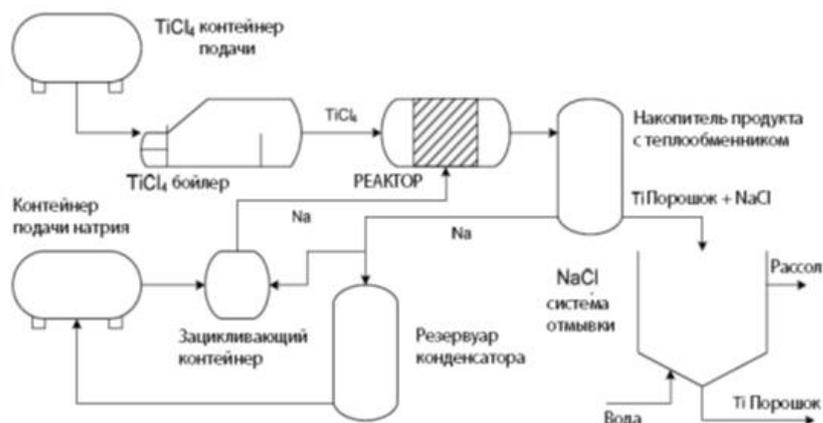


Рисунок 1.3 – Схема Armstrong – процесса

Схема реактора приведена на следующем рисунке [7].

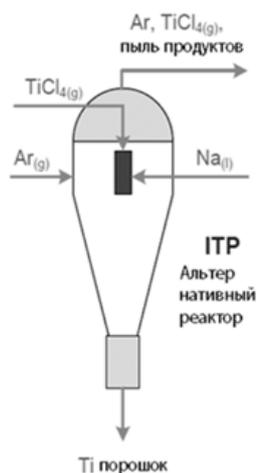


Рисунок 1.4 – Реактор ITR – процесса

Достоинства:

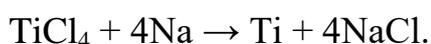
1. Возможность удалить незначительный избыток паров перед стадией разделения металла и соли.
2. Исходный концентрат может содержать большое количество примесей.
3. Дополнительная очистка  $TiCl_4$  в процессе испарения.

Недостатки:

1. Недолговечность оборудования.
2. Высокая температура процесса.
3. Трудности на стадии очистки и разделения

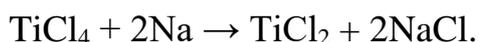
### 1.1.4 Термическое восстановление хлоридов титана натрием (Hunter – процесс)

Данный процесс полностью идентичен Kroll – процессу, но восстановление титана проводится натрием. Процесс восстановления проходит в герметичной емкости при температуре 900 °С. Также требуется избыток  $\text{TiCl}_4$ , чтобы в соли не оставался избыток натрия. Восстановление протекает по следующей реакции.



Реторта в Hunter – процессе значительно больше, чем в Kroll – процессе, так как по окончании процесс наблюдается следующая картина: на 1  $\text{см}^3$  титана приходится 10,8  $\text{см}^3$  хлорида натрия. По завершению процесса смесь титана и  $\text{NaCl}$  удаляется из реторты механическим способом. Разделение осуществляется отмыванием титана от  $\text{NaCl}$  соляной кислотой.

Сама технология подразумевает проведение процесса восстановления в две стадии. Первая стадия проходит при температуре 200 °С, на которой  $\text{TiCl}_4$  взаимодействуя с металлическим натрием восстанавливается до низших хлоридов.



На второй стадии температура достигает 1000 °С и титан восстанавливается до металлического.

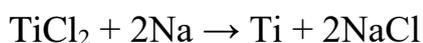


Схема процесса представлена на рисунке 1.5 [8]. Для начала нужно очистить от примесей  $\text{TiCl}_4$  методом ректификации при температуре 232 °С. Затем, очищенный  $\text{TiCl}_4$  направляется в реактор, где он реагирует с натрием с образованием низших хлоридов. После стадии смешения смесь перетекает в зону спекания. Здесь протекает вторая стадия при температуре ниже 1038 °С. Весь процесс ведется в атмосфере аргона. Продуктом является титановая губка.

Титановую губку отправляют на стадию отмывки разбавленной кислотой, а затем водой, после чего высушивают в печи.

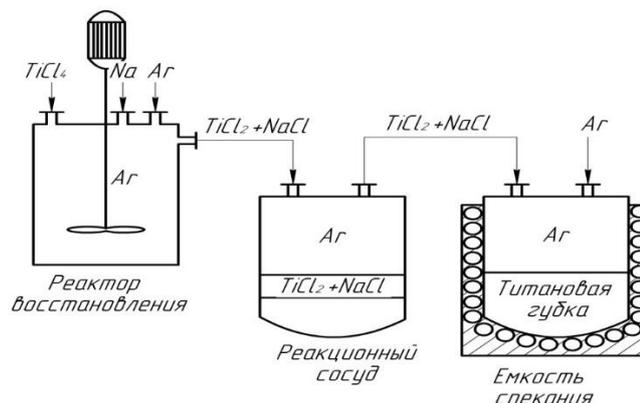


Рисунок 1.5 – Схема Hunter – процесса

Преимущества:

1. Благодаря двухступенчатой реакции можно управлять процессом восстановления.
2. Продукт получается в виде больших кристаллов, размер которых можно контролировать.
3. Менее дорогой способ производства титана, чем восстановление магнием.
4. Полученный натриетермией титан возможно перевести в порошок и использовать в металлургии.
5. Меньшее загрязнение железом, так как восстановление проходит не у стенок реактора, а во всем объеме.

Недостатки:

1. Большие размеры реактора.
2. Требуется избыток  $TiCl_4$ .
3. Титановая губка поддается только отмывке.
4. Большие энергозатраты.

### 1.1.5 Термическое восстановление хлоридов титана магнием (Kroll – процесс)

Kroll – процесс является основным, промышленным способом получения титана. В качестве исходного материала используются концентраты рутиловый и ильменитовый.

Так как в концентрате содержится большое количество железа, то процесс начинают с восстановительной плавки с образованием чугуна и титанового шлака. В титановом шлаке содержится 80 – 90% диоксида титана.

Для проведения процесса восстановления металлического титана требуется чистый  $TiCl_4$ , который получают по следующей схеме [7].

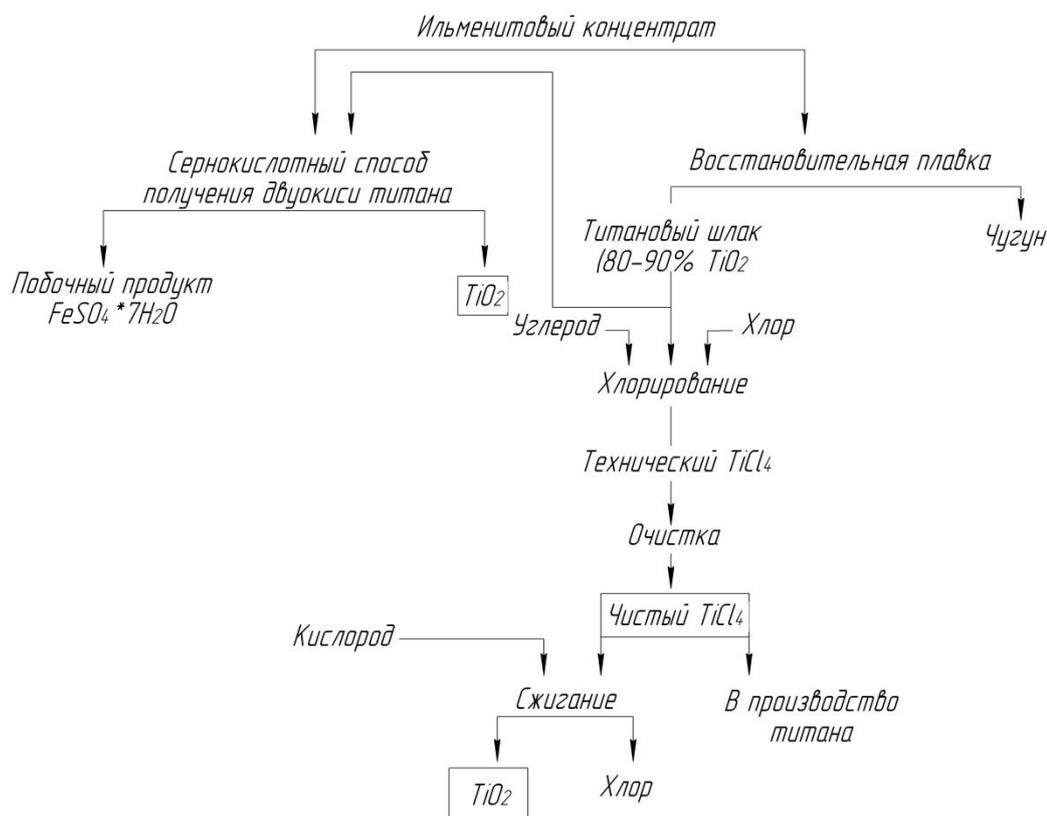
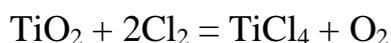


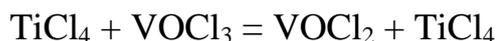
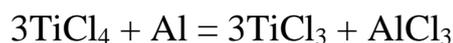
Рисунок 1.6 – Технологическая схема получения  $TiCl_4$

$TiO_2$  взаимодействует с хлором по следующей реакции:



Хлорирование проводят двумя методами: хлорированием брикетной шихты либо в солевом расплаве. После хлорирования, технический  $TiCl_4$  следует очистить от примесей: Nb, Ta, Cr.

Очистка  $TiCl_4$  осуществляется чаще всего ректификацией, но сначала нужно очистить от ванадия. В титановой шихте ванадий находится в виде  $VOCl_3$ . В последние годы восстановление проводят алюминием.



Полученные осадки направляются на извлечение ванадия.

Получение чистого металлического титана вызывает огромные трудности. Так как титан имеет высокую химическую активность, он реагирует со всеми примесями. Процесс восстановления обязательно проводится в герметичной реторте в атмосфере инертных газов.

Основную часть титана производят магниетермией, которая осуществляется на титано – магниевом заводе. Магний получают электролитическим методом [7].

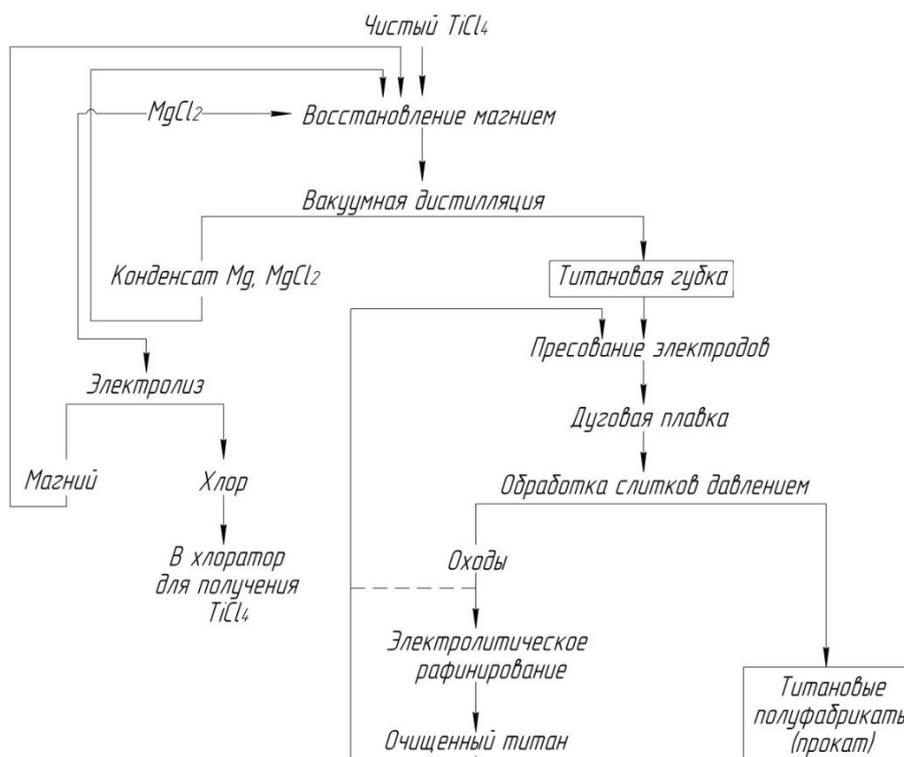
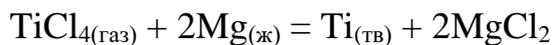


Рисунок 1.7 - Технологическая схема Кролл – процесса

TiCl<sub>4</sub> восстанавливают в герметичных аппаратах магнием. Предварительно в аппарат загружается магний.



Реакция экзотермична, поэтому подводить теплоту извне не имеет смысла. Процесс проводят при температуре 800 – 900 °С. Изменяя скорость подачи TiCl<sub>4</sub>, можно поддерживать температуру на заданном уровне. Ввиду экзотермической реакции, температура возле стенок реактора достигает 1400 °С, а в центре реактора 900 °С. У стенок реактора титан взаимодействует с материалом реактора и загрязняется железом, поэтому реактор охлаждают потоком воздуха. В результате частицы титана спекаются и образуют титановую губку.

Реактор для термического восстановления титана магнием представлен на следующем рисунке [9].

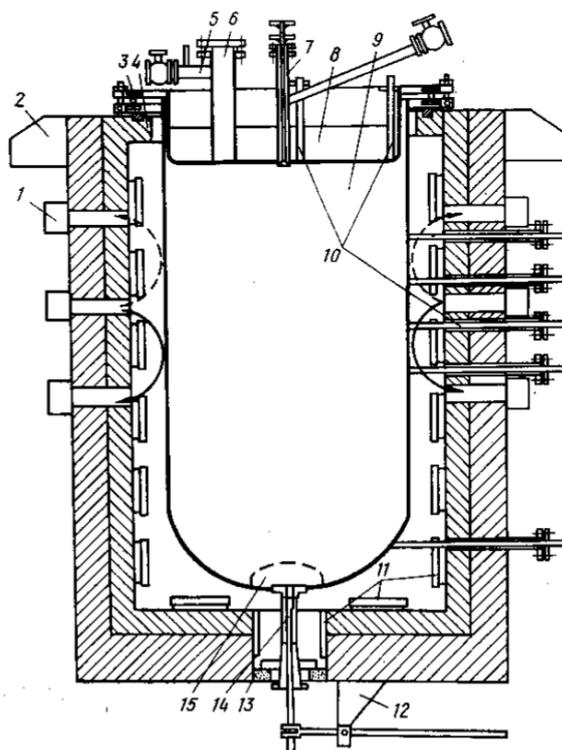


Рисунок 1.8 – Реактор термического восстановления титана магнием

1- коллекторы для подачи воздуха, обдувающего реторту; 2 – косынки для подвески печи; 3 – охлаждаемые водой фланцы реторты и крышки; 4 – футеровка печи; 5 – штуцер для присоединения к вакуумной системе и линии подачи аргона; 6 – патрубок для заливки жидкого магния; 7 – узел подачи тетрахлорида

титана; 8 – крышка реторты; 9 – реторта; 10 – термопары для замера температуры стенок и крышки реторты; 11 – нагреватели; 12 – крепление запора сливного устройства; 13 – песочный затвор; 14 – шток запорной иглы сливного устройства; 15 – ложное днище.

По окончанию процесса реактор охлаждается до 25 – 40 °С водой. Продукт содержит 55 – 65 % титана. Для отделения титановой губки от магния и хлорида магния применяется вакуумная дистилляция. При долговременном нагревании титановой губки магний испаряется и осаждается на поверхности холодного конденсатора. По окончании дистилляции аппарат продувается аргоном, и титановая губка удаляется из реактора механическим способом. Титановая губка направляется на стадии дробления и измельчения, затем на разделение по товарным фракциям.

Достоинства:

1. Низкое содержание примесей.
2. В качестве исходных материалов, возможно использовать концентраты: рутил и ильменит.
3. За один процесс получается около двух тонн титановой губки.

Недостатки:

1. Периодический процесс
2. Очень длительный процесс
3. Огромный расход электроэнергии: 6000 – 8000 кВт/ч.
4. Загрязнение титановой губки железом возле стенки реактора.
5. Большое количество дополнительных операций перед непосредственно восстановлением.

## 1.2 Электролитические методы получения титана

### 1.2.1 Процесс электролиза и кальциетермического восстановления смеси оксидов (Osaka – процесс)

Osaka – процесс был разработан в Японии, в университете Киото. Он объединяет в одной установке процесс электролиза и процесс кальциетермического восстановления смеси оксидов. Смесь состоит из  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Nb}_2\text{O}_5$ ,  $\text{Ta}_2\text{O}_5$ , и  $\text{ZrO}_2$ . Продуктом является сплав Ti-29N-23T-4,6Zr (сплав «TNTZ») [1].

Схема OS – процесса представлена на следующем рисунке [2].

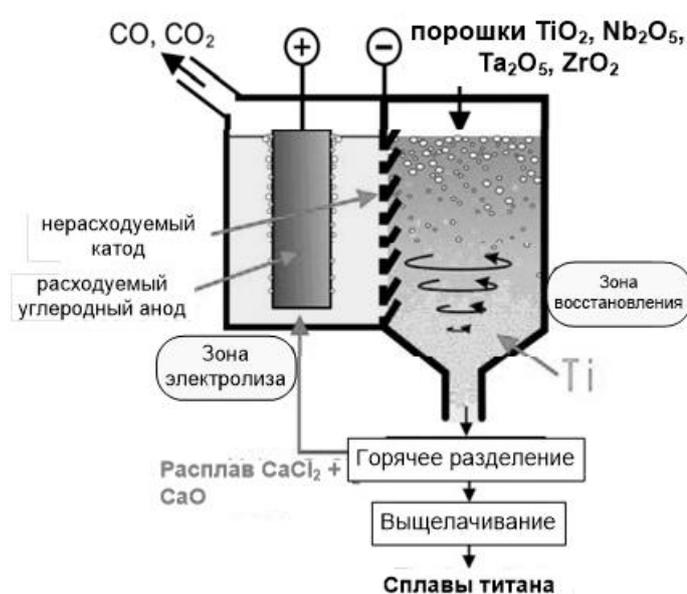


Рисунок 1.9 – Схема установки OS - процесса

В результате процесса образуется побочный продукт  $\text{CaO}$ , который растворяется в расплаве  $\text{CaCl}_2$  с образованием металлического  $\text{Ca}$  и  $\text{O}^{2-}$ . Анион  $\text{O}^{2-}$  выходит из расплава в виде газов  $\text{CO}$  и  $\text{CO}_2$ . В свою очередь металлический  $\text{Ca}$ , образовавшийся на катоде, восстанавливает все оксиды, находящиеся в расплаве. Процесс проводят при напряжении 3,2 В и температуре 1173 К.



При взаимодействии  $TiO_2$  и  $CaO$  в расплаве образуется промежуточное соединение  $CaTiO_3$ , которое через промежуточные стадии  $Ti_2O$ ,  $Ti_3O$ ,  $Ti_6O$  восстанавливается до металлического титана.

Преимущества:

1. Продукт процесса сплав TNTZ используется для биомедицинских целей в виду его уникальных свойств.
2. Уникальность установки – сочетание электролиза и кальциметрического восстановления.

Недостатки:

1. Исходными реагентами являются чистые порошки  $TiO_2$ ,  $Nb_2O_5$ ,  $Ta_2O_5$ , и  $ZrO_2$ .
2. Большие энергетические затраты.

### 1.2.2 Электролиз брикетированного $TiO_2$ (MER – процесс)

Был разработан в Великобритании при поддержке Агентством оборонных исследовательских проектов DARPA. Для проведения процесса исходный порошок  $TiO_2$  нужно подготовить определенным образом. Его смешивают с графитсодержащим материалом и углеродом в качестве связующего. Процесс проводится в инертной атмосфере либо в вакууме при температуре 1200 – 2100 °C [3].



После подготовки получается соединение Андерссона - Магнелли ( $Ti_nO_{2n-1}$ ) с небольшим содержанием углерода, которое используют для создания композитного анода при получении титана электролизом. Полученный анод используют в виде гранул либо в виде спеченного твердого анода.

При использовании такого анода можно провести электролиз титана из расплавов, в которых содержатся ионы  $Ti^{2+}$ , либо  $Ti^{4+}$  в виде катионов, которые восстанавливаются на катоде при разложении композитного анода.

В качестве солевого расплава используют соли  $TiCl_x$ . При этом на аноде образуется  $TiCl_4$ , который можно перевести обратно в расплав, чтобы избежать

потери катионов титана. На катоде выделяется металлический титан. Напряжение при проведении электролиза составляет 2,06 В.

После электролиза требуется отмывка титана от солей электролита. Образующийся на катоде титан, удаляют механическим способом. Отмытый титан направляется в отдел технического контроля.

Схема MER – процесса представлена на рисунке [3].

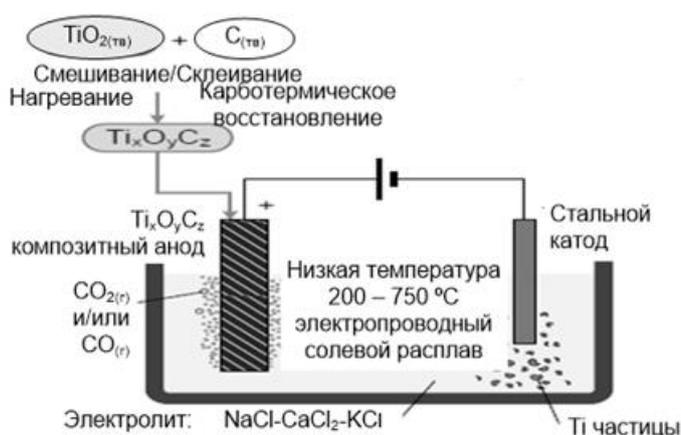


Рисунок 1.10 – Схема электролизера для MER – процесса

Преимущества:

1. Производительность составляет 227 кг/сут.
2. Низкая температура процесса электролиза: 200 – 750 °С.
3. Дополняет традиционный Kroll – процесс.

Недостатки:

1. Сложная подготовка анода перед процессом электролиза.

### 1.2.3 Электрохимическое восстановление титана (FFC – процесс)

В 2000 году, в Великобритании Фраем, Фартингом и Ченом была предложена новая технология получения металлического титана под названием FFC. Здесь металлический титан получают электрохимическим восстановлением. В качестве анода используется графит, а в качестве катода диоксид титана. Электролитом является расплав хлорида кальция.

В процессе электролиза материал катода растворяется и происходит диссоциация на  $Ti^{4+}$  и  $O^{2-}$ , который удаляется на аноде. Процесс длится 24 – 48 часов. Продуктами электролиза являются сплавы и интерметаллические соединения Ti, TiAl, NbTi, NiTi.

Электролизер представлен на следующем рисунке [4].

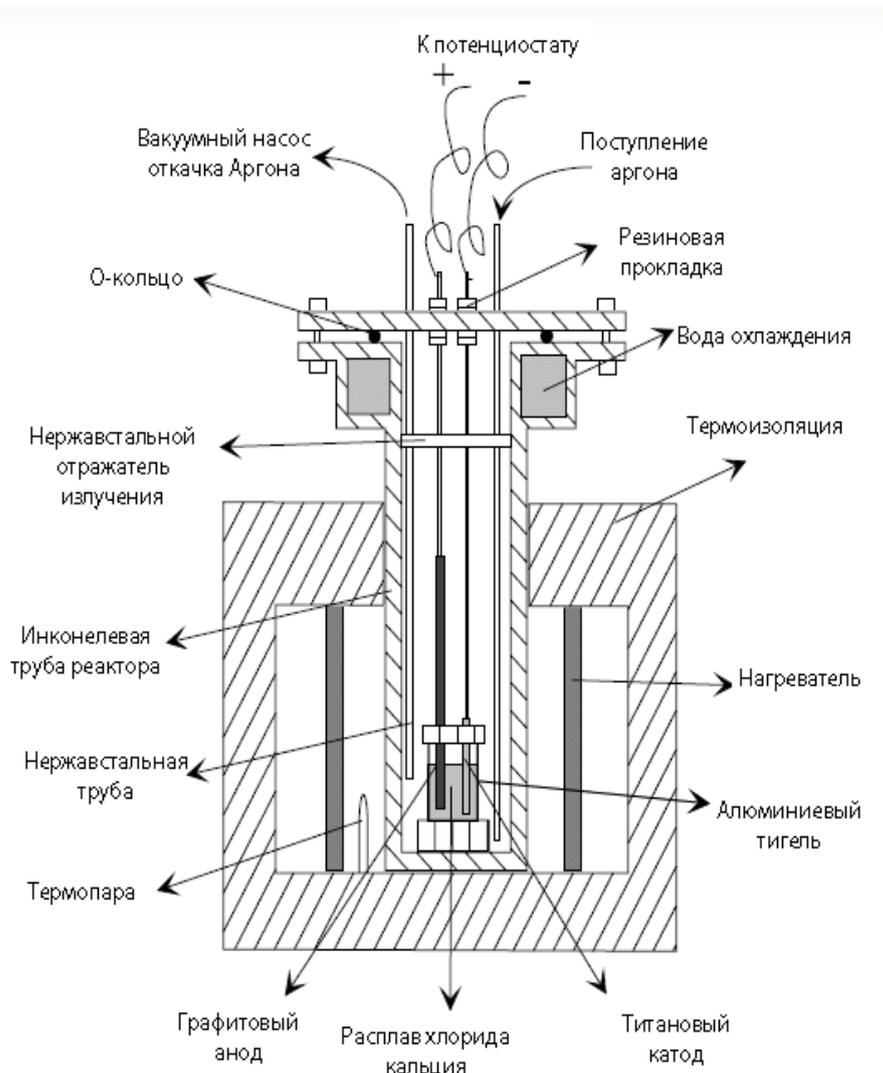


Рисунок 1.11 – Схема электролизера для FFC – процесса

В алюминиевый тигель помещается расплав  $CaCl_2$ , катод из титана и графитовый анод. Катод и анод подключаются к источнику постоянного тока. Процесс проводится в атмосфере аргона. По окончании электролиза катодный осадок направляется на отмывку от солей и выделения титана.

Преимущества:

1. Дает возможность не использовать дорогой метод металлотермического восстановления титана магнием.
2. Процесс позволяет напрямую превратить оксид титана в кислород и металлический титан.
3. В качестве исходного соединения используют рутил.

Недостатки:

1. Длительность проведения.
2. Дороговизна электродов из диоксида титана.
3. При контроле чистоты продукта возникают трудности.
4. Маленький выход по току в конце процесса.
5. Так как катод состоит из диоксида титана и связующего углерода, то электролит загрязняется связующим.
6. Выделение CO и CO<sub>2</sub>.

#### **1.2.4 Электролиз карбида титана (USTB – процесс)**

Новый процесс электролитического восстановления титана был разработан Чжу в университете Пекина. Металлический титан можно получить электрорафинированием при использовании анода из карбида титана. Чтобы углерод не загрязнял электролит, в материал анода добавляют оксидные компоненты и анод имеет следующий состав TiC<sub>0,5</sub>O<sub>0,5</sub>. В ходе процесса на аноде выделяется CO, а на катоде титан.

В качестве электролита используется смесь NaCl – KCl. В этом расплаве TiC<sub>0,5</sub>O<sub>0,5</sub> растворяется и происходит диссоциация анодного материала на CO и Ti<sup>n+</sup>. Электролиз проводят в атмосфере аргона.

Схема USTB – процесса [5].

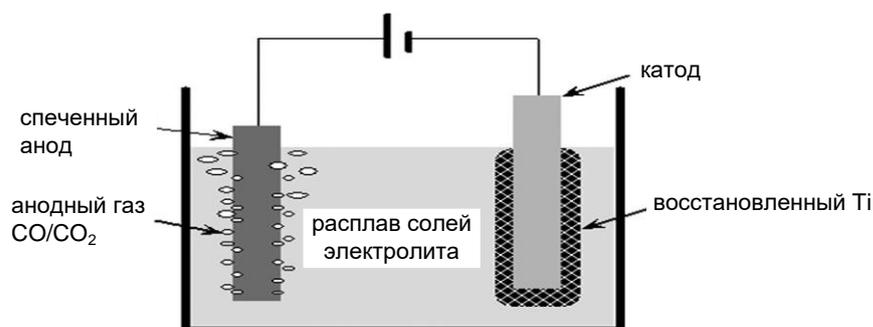


Рисунок 1.12 – Схема электролизера USTB – процесса

Преимущества:

1. Концентрация титана в продукте достигает 99%.
2. Катодный осадок не нуждается в отмывке.

Недостатки:

1. Подготовка анода
2. Выделение CO, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>.

### 1.3 Фторидно – хлоридная технология получения титана

Фторидно – хлоридная технология была разработана и в настоящее время развивается в Томском политехническом университете. Это электролитическое восстановление металлического титана разложением гексафтортитаната калия в расплаве, который имеет следующий состав: KF, KCl, K<sub>2</sub>TiF<sub>6</sub>.

Первым компонентом исходной смеси является KF. Безводный KF представляет собой бесцветный кристалл. Имеет плотность 2,48 г/см<sup>3</sup>. Температура плавления 857 °С, температура кипения составляет 1500 ± 3 °С. Получают KF по следующей реакции:  $2\text{HF} + \text{K}_2\text{CO}_3 = 2\text{KF} + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$ . Кристалл очень гигроскопичен и чаще всего представлен в виде гидрата KF·nH<sub>2</sub>O. Во фторидно – хлоридной технологии возможно применять кристаллогидрат фтористого калия, но тогда в систему попадают ионы кислорода, которые увеличивают скорость коррозии материалов реактора. Как правило, для подготовки электролита используют KF·HF. Это снижает температуру плавления до 350 °С, и конечный продукт получается наиболее чистым.

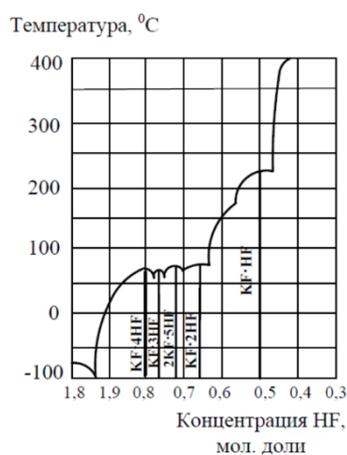


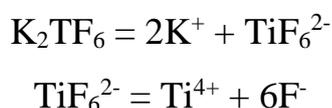
Рисунок 1.13 – Диаграмма состояния системы KF·HF

Если рассматривать диаграмму состояния KF·HF [9], то видно, что при температуре выше 400 °C происходит отщепление HF и в расплаве остается безводный KF. Единственной проблемой при подготовке электролита является выделение HF, который необходимо улавливать. Для улавливания HF применяется система колонн с различными наполнителями.

Следующий компонент смеси – KCl. Хлорид калия – это бесцветный кристалл, но технический хлорид имеет сероватый оттенок. Плотность 1.99 г/см<sup>3</sup>. Температура плавления 770 °C, а кипения 1407 °C. При температуре выше температуры плавления образуется темно - синяя масса, которая придает синий оттенок всему электролиту. Огромный недостаток хлорида калия – это его слеживаемость. Из – за слеживаемости KCl, при подготовке электролита его приходится постоянно отправлять на сушку, которая продолжается в течение 24 часов. Это значительно замедляет подготовку электролита.

Третий компонент исходной смеси – это гексафторотитанат калия. K<sub>2</sub>TiF<sub>6</sub> представляет собой кристалл белого цвета, с температурой плавления 822 °C. В Томском политехническом университете это соединение является промежуточным при получении порошка диоксида титана. Именно оттуда данное соединение поступает на приготовление электролита для электролиза.

Во время проведения процесса в электролите происходит диссоциация:



Одновременно на катоде образуется металлический титан, а на аноде выделяются газы фтор и хлор.



После процесса электролиза катодный осадок направляется на отмывку от солей. Отмывка осуществляется безводным HF.

Достоинства:

1. Содержание титана в фторидном солевом расплаве 35 – 40% масс.
2. Выход по току 90 – 95%.
3. Содержание примесей в продукте менее 0,1%.

Недостатки:

1. Коррозия материалов электролизера.
2. Частое нарушение герметичности, вследствие чего загрязнение продукта.
3. Строгий контроль при отмывке катодного осадка.

## 2 Расчеты и аналитика

### 2.1 Теории процесса отмывки катодного осадка

Для получения чистого порошка титана были рассмотрены два способа отмывки: 1 - кислотная отмывка - растворение измельченного катодного осадка, содержащего титан в неорганических кислотах с последующей фильтрацией и сушкой 2 - отмывка катодного осадка безводным HF с последующим разделением на центрифугах и сушкой.

Кислотная отмывка была опробована в лабораторных условиях. Методика отмывки электролитического порошка титана от фторидных солей заключалась в следующем.

Куски катодного осадка механически измельчались в шаровой мельнице и затем тщательно истирались в агатовой ступке. Измельчение и истирание проводились при условии, что электролитический порошок титана не загрязняется дополнительными примесями. Измельченный порошок сначала отмывался 2-х процентным раствором соляной кислоты с добавлением  $AlCl_3$ . Образовавшийся осадок отделялся на бумажном фильтре. Затем осадок отмывался от образовавшегося фторида алюминия в 30-ти процентном растворе хлорида аммония в соляной кислоте. Полученный осадок отделялся с помощью фильтра и промывался еще 2 раза. После чего была необходима промывка деионизированной водой. Полученный порошок титана высушивался при 80-90 °С.

При кислотной отмывке потери титана не превысили 0,5 %. Это связано с особенностями проведения процесса отмывки, так как KF, KCl,  $K_2TiF_6$  хорошо растворяются в неорганических кислотах, а титановый порошок в них практически нерастворим.

В ходе опытов кислотной отмывки было установлено, что при центрифугировании увеличивается трудоемкость отделения осадка от раствора и происходит потеря осадка. Поэтому, порошок и раствор разделяли методом отстаивания.

Несмотря на то, что при кислотной отмывке качество получаемых титановых порошков высокое, однако данный способ приводит к образованию больших объемов растворов KF, HCl, K<sub>2</sub>TiF<sub>6</sub> и сложной технологии их регенерации.

Чтобы провести процесс отмывки электролитического порошка титана в промышленных условиях, было необходимо разработать принципиально новую технологию, которая позволит осуществить регенерацию реагента, снизить количество отходов и снизить себестоимость титанового порошка.

В процессе исследования этого вопроса для отмывки порошка титана от фторидных и хлоридных солей был предложен безводный растворитель – безводный HF. Использование безводного фтороводорода позволяет резко (~ в 100 раз) увеличить растворимость фторида калия. Его растворимость в воде составляет 1,33 г/л (при 25 °С), а в безводном фтороводороде – 103 г/л<sup>3</sup> (при –10 – +5 °С).

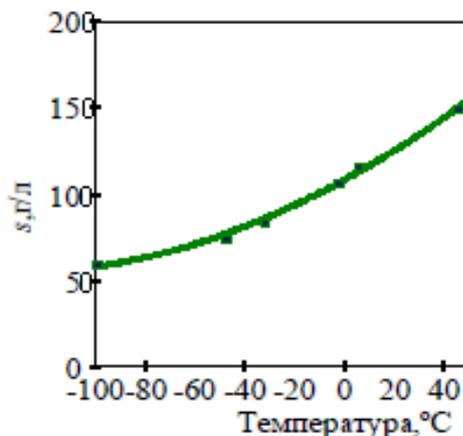
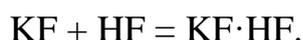


Рисунок 2.1 – Растворимость KF в HF

Растворение KF описывается уравнением:



Так как K<sub>2</sub>TiF<sub>6</sub> представляет собой комплексную фторидную соль 2KF·TiF<sub>4</sub>, то растворимость данного компонента, будет соответствовать зависимости, которая приведена на графике растворимости KF в HF. Растворение K<sub>2</sub>TiF<sub>6</sub> описывается уравнением:



KCl растворяется в HF по уравнению:



При отмывке титанового порошка с использованием безводного фтороводорода, было установлено, что соли электролита в HF при температуре от – 20 до – 10 °С хорошо растворяются, а титановый порошок практически нерастворим. Все это обеспечивает резкое снижение объемов перерабатываемых растворов. Регенерация реагентов резко упрощается. Потери титана не превышают 0,05 %.

Для данной технологии была разработана аппаратно – технологическая схема отмывки порошка титана от солей электролита, предложена аппаратура, ее технические и геометрические параметры, а также подобран конструкционный материал. Данная схема работает в непрерывном режиме. Для этого необходимо, учетом всех потерь титанового порошка (потери при дроблении 0,8 %, при измельчении 1 %, при растворении 0,06%, при центрифугировании 0,12%, при сушке 0,02 %), на стадии дробления загружать 204 кг/ч катодного осадка, в котором соотношение компонентов в пересчете на массовые доли составляет: 0,31 KF; 0,48 KCl; 0,06 K<sub>2</sub>TiF<sub>6</sub>; 0,15 Ti. В итоге разработана технология отмывки порошка титана, с использованием которой можно производить 30 кг/ч чистого порошка титана.

## **2.2 Принципиальная технологическая схема отмывки порошка титана**

Процесс отмывки порошка титана начинается с этапа дробления (в результате электролиза образуется катодный осадок размером 200-300 мм). С помощью комплекса дробилок, состоящего из щековой и валковой дробилок, и шаровой мельницы, происходит измельчение катодного осадка до размера частиц менее 1 мм. Образующаяся в результате дробления смесь порошка титана и фторидных солей направляется на отмывку от электролита. Далее происходит разделение, сушка и затаривание готовой продукции.

Принципиальная технологическая схема отмывки порошка титана представлена на следующем рисунке.

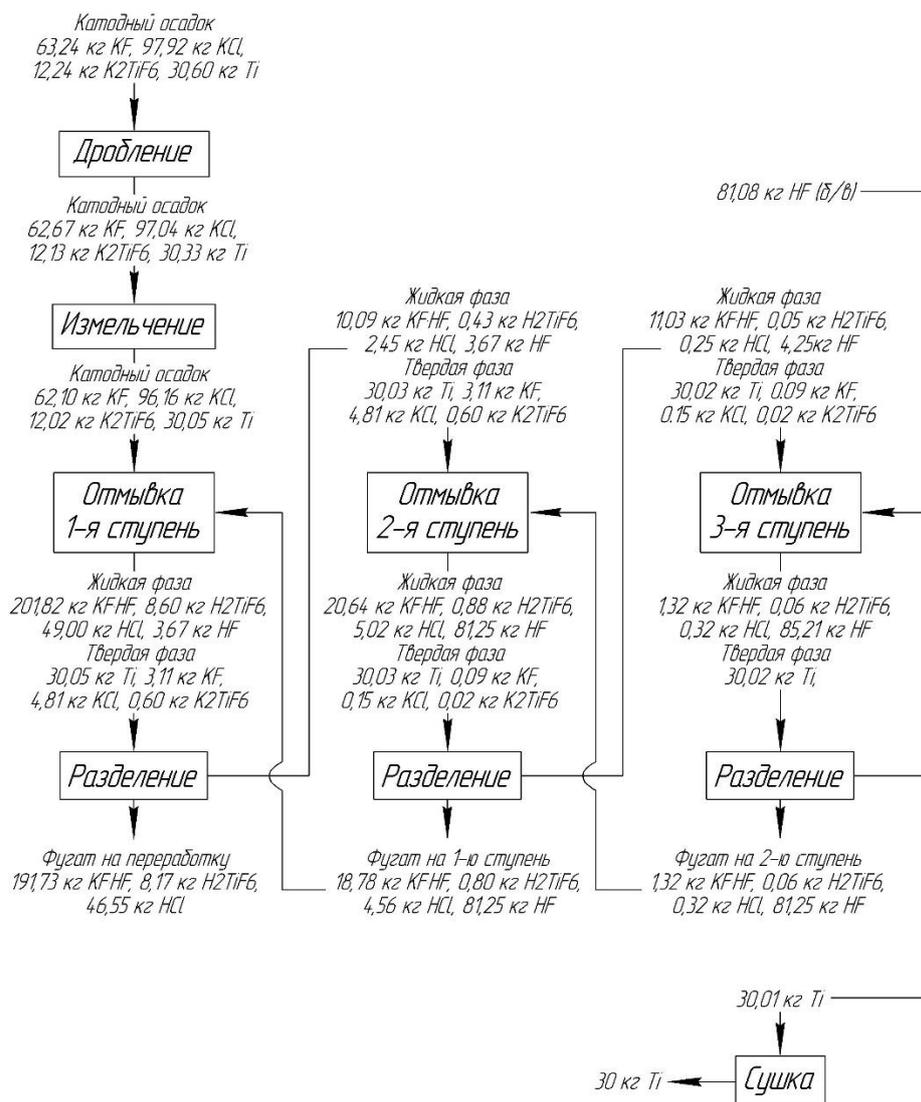


Рисунок 2.2 – Технологическая схема отмывка порошка титана

### 2.3 Аппаратурно-технологическая схема отмывки порошка титана

Схема измельчения катодного осадка и его отмывки безводным фтороводородом приведена на рисунке 2.3.

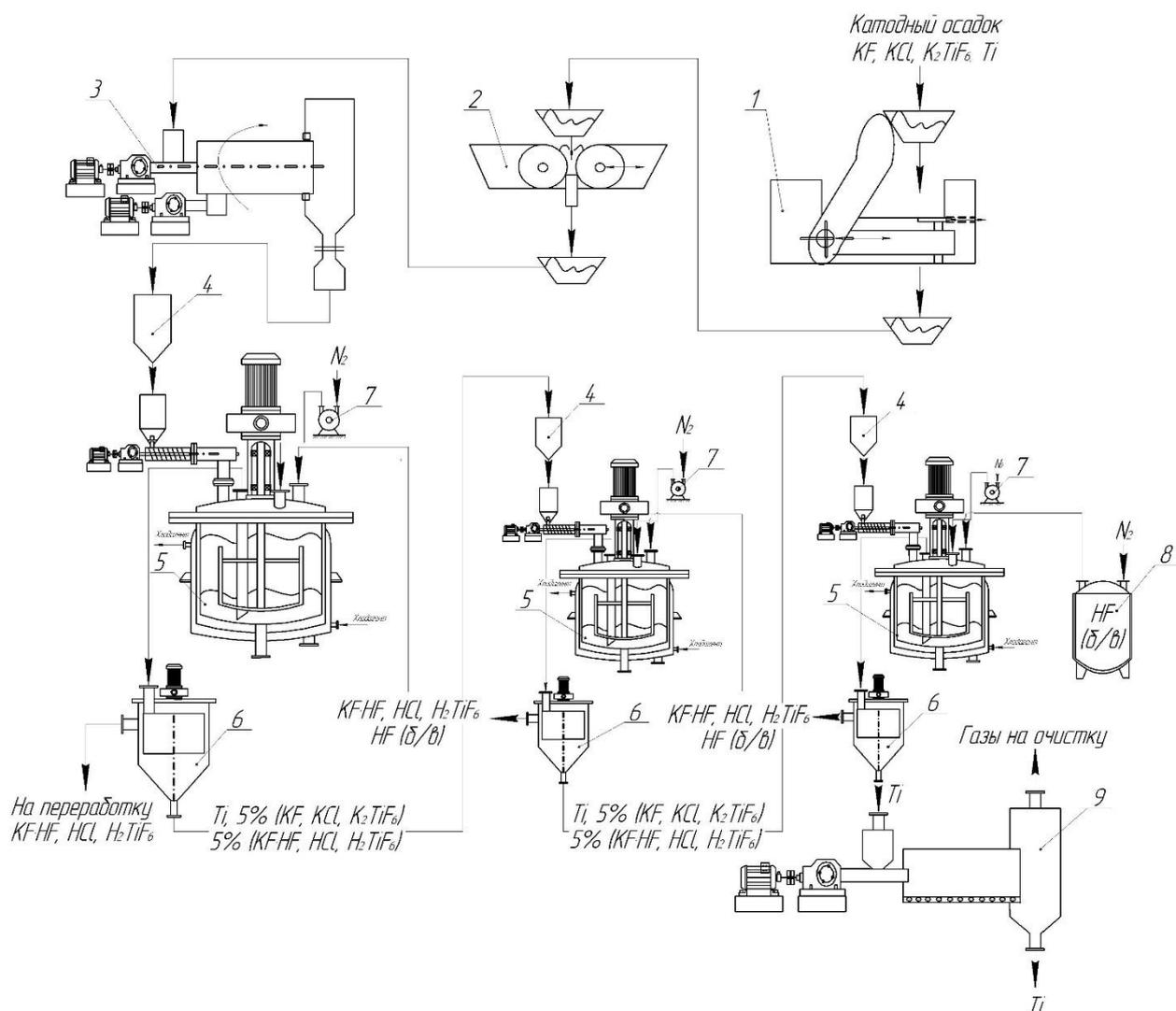


Рисунок 2.3 – Аппаратурная схема отмывки порошка титана

1 – щековая дробилка, 2 – валковая дробилка, 3 – шаровая мельница, 4 – бункер, 5 – реактор растворения, 6 – центрифуга, 7 – насос для подачи инертного газа, 8 – емкость для безводного HF, 9 – барабанно-вращающаяся печь.

Из электролизера катодный осадок, содержащий KF, KCl, K<sub>2</sub>TiF<sub>6</sub>, Ti, выводится в виде кусков размером 200-300 мм, который поступает на дробление в щековую дробилку (1). В щековой дробилке получается осадок с размером кусков 7 мм, который поступает на валковую дробилку (2), в которой измельчается до 1-2 мм. Далее порошок катодного осадка поступает на шаровую мельницу (3), в результате чего выходит порошок с размером частиц менее 1 мм. Затем катодный осадок отмывается в безводном HF, который подается противотоком. Для этого порошок KF, KCl, K<sub>2</sub>TiF<sub>6</sub>, Ti загружается в узел подачи (4) первого реактора-растворителя, а затем непосредственно в реактор-

растворитель (5), в который предварительно с помощью штуцера подачи реагентов противотоком подается безводный HF, выходящий со второй ступени отмывки. Образовавшаяся суспензия в реакторе-растворителе (5) подается в герметичную центрифугу (6) для разделения суспензии. Для выгрузки суспензии из аппарата-растворителя применяется инертный газ. Инертный газ с помощью насоса (7) подается в аппарат-растворитель и давит на зеркало суспензии, которая выводится из аппарата через штуцер выгрузки. Из центрифуги выводится фугат, содержащий  $KF \cdot HF$ ,  $HCl$ ,  $H_2TiF_6$ , который отправляется на переработку. Одновременно твердая фаза загружается в узел подачи порошка титана на вторую ступень отмывки. Из узла подачи порошка частично отмытый катодный осадок подается в реактор-растворитель второй ступени отмывки, в который противотоком подается HF, выходящий с третьей ступени. Образовавшаяся суспензия в реакторе-растворителе второй ступени отмывки, подается в центрифугу второй ступени отмывки. Из этой центрифуги выводится фугат, который загружается в реактор-растворитель первой ступени, а отмытый порошок титана опять загружается в узел подачи порошка на третью ступень отмывки. Из узла подачи порошка порошок титана выгружается в реактор-растворитель третьей ступени, в который противотоком загружают безводный HF. Образовавшаяся суспензия в реакторе-растворителе третьей ступени подается в центрифугу третьей ступени. Из нее выводится фугат, который загружается в реактор-растворитель второй ступени и одновременно выгружается порошок титана, отмытый от солей электролита. Из третьей ступени выходит титан требуемой чистоты с содержанием солей около 0,01 г/дм<sup>3</sup>. Сушку осуществляют при температуре 80 - 120 °С в барабанной вращающейся печи (9). Отходящие газы от печей направляют на очистку и улавливание.

## 2.4 Схема основного аппарата-растворителя

Аппарат-растворитель предназначен для перемешивания и растворения порошка титана с электролитом с помощью безводного HF. Корпус аппарата (7) выполняется в виде вертикальной цилиндрической обечайки, снабженной эллиптическим днищем и крышкой (4). На крышке установлен привод мешалки (1), редуктор (2), стойка крепления вала мешалки (3), а также размещаются штуцера для подвода реагентов: штуцер подвода безводного HF (5), штуцер подвода измельченного катодного осадка (6). Катодный осадок, содержащий KF, KCl, K<sub>2</sub>TiF<sub>6</sub>, Ti, подается через штуцер (6), а HF – через штуцер (5). Жидкая фаза с растворенными солями электролита и порошок титана выводятся из штуцера вывода продуктов (18). Разгрузка осуществляется при помощи подачи инертного газа под давлением в 2 атм., через штуцер (16). Газ давит на зеркало суспензии и продукты выходят через штуцер (17). Для подвода и отвода тепла корпус аппарата снабжен теплообменной гладкой рубашкой (8). Аппарат охлаждается хладагентом (антифризом), который подается с помощью штуцера (9) и выводится через штуцер (10). Также рубашка оснащена штуцером слива хладагента (14). Аппарат оснащен штуцером опорожнения (15). Для обеспечения интенсивности перемешивания фаз используется мешалка якорного типа (13), которая применяется для перемешивания жидкостей с большой вязкостью. Вращение мешалки осуществляется с помощью вала (12). Для установки мешалки используются опоры (11). Схема аппарата представлена на рисунке 2.4.

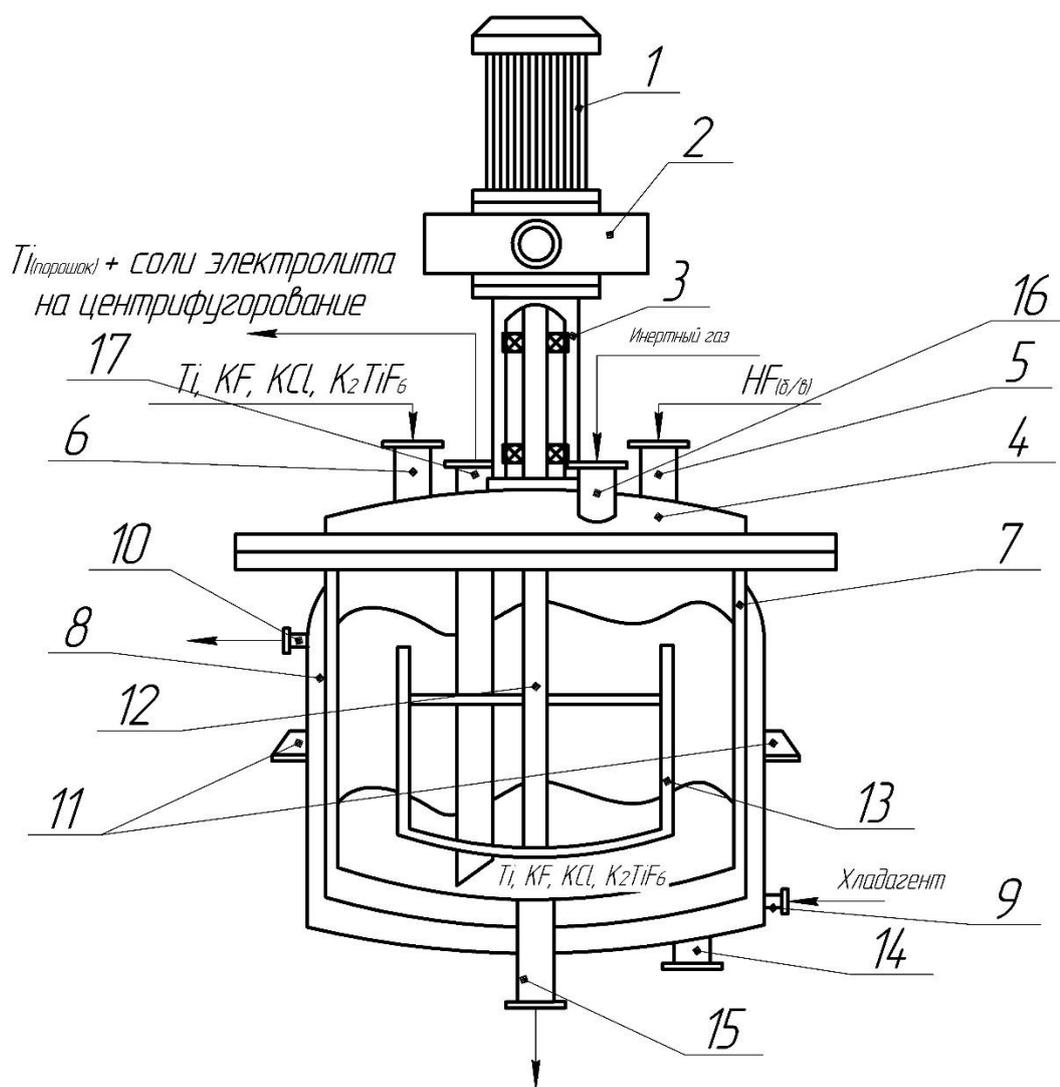


Рисунок 2.4 – Схема аппарата-растворителя

1 – привод, 2 – редуктор, 3 – стойка крепления вала мешалки, 4 – крышка, 5 – штуцер подачи безводного HF, 6 – штуцер подачи KF, KCl,  $K_2TiF_6$ , Ti, 7 – корпус, 8 – рубашка охлаждения, 9 – штуцер подачи хладагента, 10 – штуцер вывода хладагента, 11 – опоры (лапа), 12 – вал мешалки, 13 – мешалка якорного типа, 14 – штуцер слива хладагента, 15 – штуцер опорожнения аппарата, 16 – штуцер подачи инертного газа для разгрузки, 17 – штуцер вывода продуктов

### 3. Результаты раздела расчеты и аналитика

В ходе проектирования установки отмывки титанового порошка от солей электролита была разработана технологическая (рисунок 2.2) и аппаратная (рисунок 2.3) схемы процесса. В результате расчета материального баланса был определен расход безводного HF ( $G_{HF} = 81,084$  кг/ч). В ходе теплового расчета было определено необходимое количество хладагента ( $V_{об} = 5,211$  м<sup>3</sup>/ч). Также был определен объем аппарата-растворителя первой ступени:  $V_1 = 0,250$  м<sup>3</sup>. Для аппарата-растворителя первой ступени был проведен конструктивный расчет и определены все технические характеристики. Для данного процесса отмывки титанового порошка было подобрано все необходимое дополнительное оборудование: центрифуги, барабанная вращающаяся печь, измельчительное оборудование.

## **4. Автоматизация процесса отмывки титанового порошка**

### **4.1 Описание аппаратурно-технологической схемы процесса**

Схема измельчения катодного осадка и его отмывки безводным фтороводородом приведена на рисунке 2.3. Описание схемы представлено в разделе: «2.3 Аппаратурно-технологическая схема.»

### **4.2 Составление функциональной схемы автоматизации**

При автоматизации химико-технологических процессов и производств технологическое оборудование оснащается приборами, регуляторами, управляющими машинами и другими устройствами. Для этого тщательно изучается технологический процесс, выявляются величины, влияющие на его протекание, находится связь между ними [19]. В соответствии с заданной целью составляется схема регулирования или управления технологическим процессом.

Системы автоматизации технологических процессов строятся на базе серийно выпускаемых средств автоматизации и вычислительной технике. При этом следует применять однотипные устройства и унифицированные системы, характеризующиеся простотой сочетания. Преимущественно необходимо использовать устройства Государственной системы промышленных приборов и средств автоматизации (ГСП), ГОСТ 12997-84 [19]. По возможности ограничивают число приборов, аппаратуры управления и сигнализации, устанавливаемых на щитах и пультах.

Так как участок дробления обслуживается полностью аппаратчиками, схема автоматизации для этого участка не предусмотрена. Объектом автоматизации является участок отмывки титанового порошка от солей электролита, участок подачи безводного HF, участок сушки титанового порошка. Процесс является полу непрерывным. Главным фактором, определяющим нормальную и стабильную работу всего технологического процесса, является

точная и стабильная подача реагентов, контроль температуры хладагента и суспензии в аппаратах-растворителях.

Для обеспечения высокой надежности работы аппаратов предусмотрен автоматический контроль входных, выходных и режимных параметров [20]. В схеме управления предусмотрена световая и звуковая сигнализация, сообщающая аппаратчику об отклонении контролируемого параметра. Схема управления централизована, приборы контроля и регулирования, а также сигнализация, смонтированы на щитах управления в операторской.

Схема автоматизации представлена в приложении А.

### **4.3 Описание функциональной схемы автоматизации**

Предварительно измельченный катодный осадок подается в бункер загрузки (а1) аппарата-растворителя первой ступени отмывки (b<sub>1</sub>). Бункеры загрузки оснащены датчиком измерения массы (2-1; 12-1; 22-1). Масса катодного осадка составляет 200,33 кг. Мешалка аппарата-растворителя работает постоянно со скоростью 40 об/мин. Растворение солей электролита протекает при температуре – 20 °С. Поэтому для поддержания заданной температуры все аппараты-растворители 3-х ступеней отмывки оснащены рубашкой охлаждения. Температура в рубашке охлаждения регистрируется с помощью датчика температуры (9-1; 19-1; 29-1) и регулируется с помощью автоматического клапана (10; 20; 30). Центрифуги и трубопровод участка отмывки заизолированы специальным материалом для предотвращения нагрева суспензии. Отмывка титанового порошка протекает в течение 45 минут на одной стадии отмывки.

Для уже запущенного процесса отмывки титанового порошка загрузка и выгрузка реагентов осуществляется следующим образом. Когда процесс запущен, в каждом аппарате-растворителе находится суспензия, состоящая из отмытых солей электролита и титанового порошка, а также безводного фтороводорода. Для выгрузки суспензии из аппаратов-растворителей (b<sub>1</sub>, b<sub>2</sub>, b<sub>3</sub>) применяется инертный газ, который давит на зеркало суспензии. Газ подается с

помощью насосов (4; 14; 24), которые включаются вручную на пульте управления после 45 минутного растворения солей электролита. При этом происходит закрытие клапанов (5; 15; 25) Суспензия из аппаратов-растворителей загружается в центрифуги ( $c_1$ ,  $c_2$ ,  $c_3$ ). В аппаратах-растворителях установлены датчики нижнего уровня (3-1; 13-1; 23-1). Когда во время выгрузки уровень суспензии достигает нижнего уровня происходит автоматическое выключение насосов (4; 14; 24) и открытие клапанов (5; 15; 25). По тому же сигналу происходит запуск центрифуг ( $c_1$ ,  $c_2$ ,  $c_3$ ) и запуск шнеков загрузки (7; 17; 27). Во время работы центрифуг ( $c_1$ ,  $c_2$ ,  $c_3$ ) и шнеков загрузки (7; 17; 27) осуществляется следующее. Фугат с третьей ступени отмывки загружается в аппарат-растворитель второй ступени отмывки ( $b_2$ ), фугат второй ступени отмывки загружается в аппарат-растворитель первой ступени отмывки ( $b_1$ ), а фугат с первой ступени отправляется на переработку. Также осуществляется подача титанового порошка (твердая фаза) с первой ступени в бункер загрузки второй ступени ( $a_2$ ) и в аппарат-растворитель второй ступени ( $b_2$ ). Титановый порошок со второй ступени отмывки разгружается в бункер загрузки третьей ступени ( $a_3$ ) и в аппарат-растворитель третьей ступени ( $b_3$ ). Титановый порошок с третьей ступени отправляется на сушку в барабанную вращающуюся печь (e). Аппараты-растворители оснащены датчиками верхнего уровня (8-1; 18-1; 28-1). По достижению суспензией верхнего уровня срабатывают датчики верхнего уровня и происходит автоматическая остановка центрифуг ( $c_1$ ,  $c_2$ ,  $c_3$ ) и шнеков загрузки (7; 17; 27). Описанный выше процесс загрузки и выгрузки реагентов протекает в течение 10 минут.

Для обеспечения процесса необходим строгий контроль расхода безводного HF. Для этого трубопровод оснащен датчиком расхода (33-1) и регулирование расхода осуществляется с помощью автоматического клапана (34). Емкость для фтороводорода (d) оснащена датчиком нижнего уровня (31-1) который регистрирует наличие HF в емкости. При достижении нижнего уровня срабатывает сигнализация. Также емкость HF оснащена датчиком температуры (32-1), который регистрирует температуру. При температуре фтороводорода

выше – 20 °С, срабатывает сигнализация и сигнал передается в цех подготовки HF.

Сушка порошка осуществляется в барабанной вращающейся печи при температуре 80 - 120 °С. Печь при запущенном процессе включена постоянно. Печь оснащена датчиком температуры (38-1). На выходе титанового порошка из печи установлен влагомер (36-1). Влажность порошка не должна превышать 0,01 %. Регулирование осуществляется с помощью поддержания температуры в печи нагревателями (37).

#### **4.4 Запуск процесса отмывки**

Перед запуском процесса оператор проверяет состояние фтороводорода по датчику температуры (32-1) и уровня (31-1). Запускает хладагент в рубашки охлаждения аппаратов растворителей с помощью клапанов (30; 20; 10). Далее оператор устанавливает расход фтороводорода. Для первой ступени отмывки необходимо 73,539 кг HF. Процесс загрузки притекает 10 минут. Следовательно, оператору необходимо установить расход HF, равный 441,234 кг/ч. Вручную запускается третья ступень, в которой автоматически происходит запуск центрифуги (с<sub>3</sub>) и шнека загрузки (27). Также вручную запускается мешалка (21). Происходит загрузка 73,539 кг фтороводорода и отключается вручную центрифуга и шнек загрузки. Оператор вручную запускает разгрузку аппарата-растворителя (b<sub>3</sub>) и одновременно запускает вторую ступень отмывки. При срабатывании датчика уровня (23-1; 13-1) происходит остановка насосов (11; 21) и запускаются центрифуги (с<sub>2</sub>; с<sub>3</sub>) и шнеки загрузки (17; 27). Фтороводород загружается в аппарат-растворитель второй ступени (b<sub>2</sub>) и новая порция фтороводорода в аппарат-растворитель третьей ступени (b<sub>3</sub>). Далее вручную включается разгрузка. Происходит выгрузка фтороводорода в центрифуги (с<sub>2</sub>; с<sub>3</sub>). Затем оператор устанавливает расход фтороводорода, равный 463,758 кг/ч (для обеспечения работы второй ступени отмывки необходимо 3,754 кг HF). Вручную включается первая ступень. При срабатывании датчика уровня (23-1;

13-1; 3-1) происходит остановка насосов (4; 14; 24) и запускаются центрифуги ( $c_1$ ;  $c_2$ ;  $c_3$ ) и шнеки загрузки (7; 17; 27). Фтороводород загружается в аппарат-растворитель первой ступени ( $b_1$ ), второй ступени ( $b_2$ ) и новая порция фтороводорода в аппарат-растворитель третьей ступени ( $b_3$ ). Также происходит загрузка 200,33 кг катодного осадка в аппарат-растворитель первой ступени ( $b_1$ ). Оператор устанавливает постоянный расход фтороводорода, равный 486,504 кг/ч. Далее процесс протекает с помощью автоматизации описанной выше в разделе 5.3.

#### **4.5 Остановки процесса отмывки**

Процесс остановки отмывки титанового порошка начинается с того, что в бункер загрузки катодного осадка первой ступени отмывки ( $a_1$ ) прекращается подача катодного осадка. Перед разгрузкой аппаратов-растворителей устанавливается расход HF, равный 45,27 кг/ч. Далее загрузка и выгрузка аппаратов-растворителей протекает с помощью автоматизации описанной выше в разделе 5.3, с учетом что загрузка новой порции катодного осадка не производится. Когда суспензия с титановым порошком поступает в центрифугу второй ступени отмывки ( $c_2$ ), оператор устанавливает расход HF, равный 22,746 кг/ч. Производится загрузка и выгрузка аппаратов-растворителей. Когда суспензия с титановым порошком поступает в центрифугу третьей ступени отмывки ( $c_3$ ), оператор прекращает подачу фтороводорода с помощью клапана (34). Происходит загрузка и выгрузка аппаратов-растворителей по технологии описанной в разделе 5.4, при которой оставшиеся отмытые соли электролита переходят с третьей ступени на вторую, а потом на первую ступень и отправляются на переработку, титановый порошок отправляется на участок сушки.

После опорожнения всего оборудования, оператор останавливает сначала первую ступень отмывки, затем вторую и третью. Прекращается подача хладагента в рубашки охлаждения с помощью клапанов (10; 20; 30). Для полного

опорожнения аппаратов предусмотрены штуцеры опорожнения, которые открываются после остановки процесса. Также на рубашках охлаждения предусмотрены штуцеры слива хладагента, которые тоже открываются.

После сушки оставшегося титанового порошка происходит остановка барабанной вращающейся печи.

#### **4.6 Перечни технологических параметров, подлежащих контролю, регулированию и сигнализации**

Контролю подлежат:

1. Масса катодного осадка в бункере загрузки первой ступени отмывки ( $a_1$ ), (200,330 кг)
2. Масса катодного осадка в бункере загрузки второй ступени отмывки ( $a_2$ ), (55,193 кг)
3. Масса катодного осадка в бункере загрузки третьей ступени отмывки ( $a_3$ ), (35,842 кг)
4. Нижний уровень суспензии в аппарате-растворителе первой ступени отмывки ( $b_1$ )
5. Нижний уровень суспензии в аппарате-растворителе второй ступени отмывки ( $b_2$ )
6. Нижний уровень суспензии в аппарате-растворителе третьей ступени отмывки ( $b_3$ )
7. Верхний уровень суспензии в аппарате-растворителе первой ступени отмывки ( $b_1$ )
8. Верхний уровень суспензии в аппарате-растворителе второй ступени отмывки ( $b_2$ )
9. Верхний уровень суспензии в аппарате-растворителе третьей ступени отмывки ( $b_3$ )
10. Температура в рубашке охлаждения аппарата-растворителя первой ступени отмывки ( $b_1$ ),  $- 20\text{ }^{\circ}\text{C}$

11. Температура в рубашке охлаждения аппарата-растворителя второй ступени отмывки ( $b_2$ ), – 20 °С

12. Температура в рубашке охлаждения аппарата-растворителя третьей ступени отмывки ( $b_3$ ), – 20 °С

13. Температура в емкости для HF ( $d$ ), – 20 °С

14. Нижний уровень в емкости для HF ( $d$ )

15. Расход HF, 486,504 кг/ч

16. Температура в барабанной вращающейся печи, 80 – 120 °С

17. Влажность титанового порошка, менее 0,01%

Регулированию подлежат:

1. Нижний уровень суспензии в аппарате-растворителе первой ступени отмывки ( $b_1$ )

2. Нижний уровень суспензии в аппарате-растворителе второй ступени отмывки ( $b_2$ )

3. Нижний уровень суспензии в аппарате-растворителе третьей ступени отмывки ( $b_3$ )

4. Верхний уровень суспензии в аппарате-растворителе первой ступени отмывки ( $b_1$ )

5. Верхний уровень суспензии в аппарате-растворителе второй ступени отмывки ( $b_2$ )

6. Верхний уровень суспензии в аппарате-растворителе третьей ступени отмывки ( $b_3$ )

7. Температура в рубашке охлаждения аппарата-растворителя первой ступени отмывки ( $b_1$ )

8. Температура в рубашке охлаждения аппарата-растворителя второй ступени отмывки ( $b_2$ )

9. Температура в рубашке охлаждения аппарата-растворителя третьей ступени отмывки ( $b_3$ )

10. Расход HF

11. Влажность титанового порошка

Сигнализации подлежат:

18. Температура в емкости для HF (d)
19. Нижний уровень в емкости для HF (d)

#### **4.7 Перечень первичных преобразователей, использованных в проекте**

Для получения информации о состоянии объекта и условиях работы служат устройства контроля (контрольно-измерительные приборы) [21]. Они могут быть выполнены либо в виде отдельных приборов, предназначенных для визуального контроля параметров процесса, либо являться составной частью устройств регулирования, сигнализации и защиты. Контрольно-измерительные приборы устанавливаются непосредственно у технологических аппаратов (местный контроль) или на центральных щитах управления (дистанционный контроль) [21].

1. Устройство весовое тензометрическое типа 6.045 УВТ-У. Предназначен для измерения веса реагентов в бункере [22].

Диапазон номинальных нагрузок, до 1000 кг;

Погрешность, 0,1%;

Питание, 220В;

Выходной сигнал, от 4 до 20 мА;

Позиции: 2-1, 12-1, 22-1.

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 суспензий. Может использоваться в агрессивных средах. Также есть возможность контроля заданных предельных уровней в резервуарах [22].

Погрешность измерения:  $\pm 1\%$ ;

Потребляемая мощность: 10 В·А;

Выходной сигнал непрерывный токовый на каждый канал измерения.

Температура окружающей среды: -30 °С ... +50 °С;

Относительная влажность: до 95% (при 40 °С);

Вибрационные нагрузки: 5 - 80 Гц;

Степень защиты: IP54

Позиции: 3-1, 8-1, 13-1, 18-1, 23-1, 28-1, 31-1.

### 3. Термопара ТХА-13.

Преобразователь термоэлектрический (термопара) ТХА представляет собой два разнородных термоэлектрода, изолированных термостойкой изоляцией и сваренных с одного конца в рабочий спай. Защитный корпус выполнен из керамики для использования в особо агрессивных средах. Свободные концы термоэлектродов присоединяются к монтажной головке или выводятся при помощи кабеля. Рабочий спай может быть изолирован или не изолирован от защитного корпуса [22].

Класс допуска по ГОСТ Р 8.585-2001: 1;

Диапазон измеряемых температур, ° С: от -40 – 1000;

Диаметр термоэлектродов, мм: 3,2;

Материал изоляции: керамическая трубка МКР, КТВП;

Масса погонного метра, кг не более: 0,33;

Диапазон номинальных длин (L) термопар, мм: от 160 до 20000;

Позиции: 9-1, 19-1, 29-1, 32-1, 38-1.

### 4. Расходомер исполнения ВРСГ-500, -500 Ех

Предназначены для измерения объемного расхода в рабочих условиях различных агрессивных и неагрессивных газов, в том числе во взрывоопасных зонах [22].

Наибольший расход: 600 кг/ч;

Наименьший расход: 0,01 кг/ч;

Температура измеряемой среды: до от - 30 до 150 °С;

Температура окружающей среды: -10 до 50 °С

Давление измеряемой среды: до 1,6 МПа;

Относительная погрешность:  $\pm 1$  %;

Позиция: 33-1.

#### 5. Поточный влагомер микрорадар 113А

Микроволновой поточный влагомер MICRORADAR - 113А может быть использован для измерения влажности титанового порошка и других порошков в порошковой металлургии. Влагомер предназначен для работы в условия высоких температур, при высокой абразивности и агрессивности материала. Принцип действия влагомера основан на измерении величины поглощения СВЧ энергии влажным материалом и преобразовании этой величины в цифровой код, соответствующий влажности материала. Влагомер обеспечивает автоматическую коррекцию результатов измерения при изменении температуры материала [22].

Унифицированный аналоговый выход (по выбору), ток (4-20; 0-5; 0-20) мА;

Нагрузочная способность токового выхода, Ом  $< 500$ ;

Канал связи с ЭВМ, RS-485;

Время установления рабочего режима, не более 20 мин;

Напряжение питания, 220 В;

Потребляемая мощность, не более 50 В·А;

Позиция: 36-1.

## **5. Строительная часть**

### **5.1 Основные параметры здания**

Основные габаритные размеры здания: длина – 30 м, ширина – 20 м и высота – 4 м. При размещении в цехе оборудования необходимо учитывать создание максимальных удобств при его обслуживании и ремонте. Ширина прохода между аппаратами должна быть не менее 1,5 м. Площадь цеха  $S_n = 600$  м<sup>2</sup>.

### **5.2 Основание**

Все здания и сооружения строятся на грунте. Слой грунта, на который передается нагрузка, называется основанием. Грунт представляет собой несцементированные и кристаллические породы. Такой грунт слабо сжимается под нагрузкой, значительно сопротивляется сдвигу, поэтому он является хорошим основанием под здание.

### **5.3 Фундамент и колонны**

Глубину заложения фундаментов под внутренние стены отапливаемых зданий принимают обычно равной 0,5 м от уровня земли независимо от глубины промерзания грунтов и от положения уровня грунтовых вод. В качестве фундамента выбираем ленточный сборный фундамент, состоящий из типовых железобетонных фундаментных блоков и плит.

Для защиты фундаментов наружных стен и колонн от увлажнения вокруг здания устанавливают отмостку – замощенную или асфальтированную полосу шириной 1-1,5 м.

Втрамбовывание гравия в грунт приводит к уплотнению основания на глубину 15-20 см, ширина подошвы фундамента составляет 1 м.

Материал фундамента – железобетон. Это основной материал для сборных фундаментов промышленных зданий.

Для постройки здания выбираем одноветьевую колонну с шагом 5000 мм по длине имеющую следующие размеры: полная высота колонны – 5500 мм, расстояние под фундамент – 1500 мм.

#### **5.4 Наружные стены**

Наружные стены представляют собой самонесущие стены, которые испытывают действие собственного веса, но не несут нагрузок от покрытия, крана и других силовых элементов. Стены монтируются из панелей, которые крепятся к каркасу. Длина панелей 6 м, ширина 2,5 м. Материал панелей – пенобетон.

#### **5.5 Полы**

Покрытие полов 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.

В состав ограждающих элементов входят:

– настил, образующий сплошную поверхность покрытия: настил чаще всего делают из крупнопанельных железобетонных плит, опирающихся непосредственно на несущие конструкции.

– утеплитель – укладывается поверх настила.

– кровля – водоизоляционный слой, препятствующий проникновению атмосферной влаги в толщину покрытия и внутрь здания. При рулонной кровле поверх утеплителя, для наклейки кровли необходим выравнивающий слой. В качестве настила используют ребристые крупнопанельные плиты 6х3 м. В качестве утеплителя применяют керамзит. Кровля выполняется из рубероида 3

слоев, проклеивается битумной мастикой. Основанием рубероидной кровли служит выравнивающий слой – стяжка из бетона марки М-300.

## **5.6 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 производственной необходимости. Эвакуационные выходы должны соответствовать противопожарным требованиям дверная коробка укрепляется в проёме стены, а дверь навешивается на коробку. В цеху предусмотрены двое ворот шириной 4 м для ввоза реагентов и вывоза готовой продукции.

## **5.7 Водоснабжение**

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

Хозяйственно-питьевая вода подается к умывальникам, душам, питьевым фонтанчикам, для уборки помещений, поливки дорог и зеленых насаждений. Качество питьевой воды определяется по цвету, запаху, вкусу, на основе химического анализа на содержание тяжелых металлов, галогенов и др. показателей.

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

## 5.8 Водоотведение

Водоотведение – система устройств, предназначенных для приема, отведения и очистки сточных вод различного назначения. Бытовым называется водоотведение, принимающее сточные воды уборных, умывальников, душей и т.п.

Производственное водоотведение 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 Экономическая часть

### 7.1 Расчет капитальных затрат на здание

Для осуществления процесса отмывки титанового порошка необходимо построить цех со следующими геометрическими параметрами: цех – каркасное здание: длина – 30 м, ширина – 20 м, высота – 4,7 м. Производственная площадь – 600 м<sup>2</sup>; полный объем здания – 2850 м<sup>3</sup>.

Капитальные затраты на здание определяются по формуле:

$$C_{зд} = C + C_{от} + C_{вен} + C_{вод} + C_{кан} + C_{осв} \quad (66)$$

где  $C$  – стоимость помещения, руб.;

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

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

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

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

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

Смета на строительства здания представлена в таблице 7.1 [45].

Таблица 7.1 - Смета на строительство здания

Параметр	Значение	Ед. изм.
Длина здания:	30	м.
Ширина здания	20	м.
Высота здания:	4,7	м.
Нагрузка на пол:	3	т./кв.м.
Площадь здания	600	кв.м.
Периметр здания	100	м.
Выборка грунта (глубина – 0,4 м)	170400	руб.
Устройство монолитных стаканов под стойки каркаса	241500	руб.
Основание под плиту (песок)	84600	руб.
Основание под плиту (щебень)	184800	руб.
Устройство бетонного пола	1440000	руб.

Продолжение таблицы 7.1

Металлокаркас	1284000	руб.
Проф. лист (стены)	450000	руб.
Проф. лист (кровля)	535500	руб.
Роллетные ворота (4х4,5 м)	120000	руб.
Итого по разделу	2389500	руб.
Полная стоимость	4510800	руб.
Цена строительства	7518	руб./кв.м.

Затраты на санитарно-технические работы представлены в таблице 7.2.

Таблица 7.2 – Затраты на санитарно-технические работы

Затраты	% от затрат на постройку здания	Цена, руб.
на отопление	5	225540
на вентиляцию	5	225540
на водопровод	3	135324
на канализацию	3	135324
на освещение	2	90216
Итого:	18	811944

Полная стоимость строительства здания составляет:

$$C_{зд} = 4510800 + 225540 + 225540 + 135324 + 135324 + 90216 = \\ = 5322744 \text{ руб.}$$

Расчет стоимости оборудования представлен в таблице 7.3.

Таблица 7.3– Расчет стоимости оборудования

Наименование	Цена, руб./шт	Количество, шт	Сумма, руб.
Щековая дробилка лабораторная	295000	1	295000
Валковая дробилка лабораторная	330000	1	330000
Шаровая мельница лабораторная	258232	1	258232
Бункер загрузки	12000	3	36000
Аппарат-растворитель первой ступени	190000	1	190000
Центрифуга первой ступени	2230000	1	2230000

Продолжение таблицы 7.3

Аппарат-растворитель второй и третьей ступеней	170000	2	340000
Центрифуга второй и третьей ступеней	2058000	2	4116000
Емкость для HF	507120	1	507120
Компрессор для инертного газа	78083	3	234249
Барабанная вращающаяся печь	1650000	1	1650000
Итого			10186601

Расходы на наладку и монтаж оборудования представлены в таблице 7.4

Таблица 7.4 – Расходы на наладку и монтаж оборудования

Наименование нормативов	% от стоимости оборудования	Сумма, руб.
Транспортные расходы	10	1018660
Устройство фундаментов	10	1018660
Монтаж трубопроводов	15	1527990
Антикоррозионные работы	5	509330
Монтаж оборудования	25	2546650
КИПиА	20	2037320
Вспомогательные устройства	5	509330
Итого:		9167940

Общие капитальные затраты (без стоимости помещения) рассчитываются по формуле:

$$C_{\text{кап.затр}} = C_{\text{обор}} + \sum C_{\text{затр}} \quad (67)$$

$$C_{\text{кап.затр}} = 10186601 + 9167940 = 19354541 \text{ руб.}$$

Полные капитальные затраты на здание и оборудование составляют:

$$C_{\text{полн}} = 19354541 + 5322744 = 24677285 \text{ руб.}$$

## 7.2 Расчет численности работающих

Длительность сменоборота:

$$T_{\text{см.об}} = N_6 \cdot T_6 \quad (68)$$

где  $N_6$  – число бригад;

$T_6$  – количество дней работы бригады за одну смену.

$$T_{\text{см.об}} = 4 \cdot 3 = 12 \text{ дней.}$$

Таблица 7.5 – График сменности

смены	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
с 0 до 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
с 8 до 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
с 16 до 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
Выходные	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 [46].

За 12 дней бригада отдыхает 3 дня, а, следовательно, за год:

$$T_{\text{отдых}} = 365 \cdot \frac{3}{12} = 91 \text{ день.}$$

Количество ночных смен в год – 91. Тогда на одного среднесписочного рабочего приходится 91 день выходных и 91 ночная смена в год.

Таблица 7.6 – Баланс рабочего времени среднесписочного рабочего

Элементы времени	Непрерывное производство, 8 часовой рабочий день, кол-во бригад	
	дней	часов
1. Календарное число дней	365	2920
2. Выходные дни	91	728
3. Номинальный фонд рабочего времени	274	2192
4. Планируемые невыходы:		
– очередные и дополнительные отпуска;	24	192
– невыходы по болезни;	8	64
– выполнение общественных обязанностей;	1	8
– отпуск в связи с учебой без отрыва от производства	2	16
5. Итого (планируемые невыходы)	35	280
6. Эффективный фонд рабочего времени	239	1912

1. Явочное число основных рабочих в сутки:

$$N_{\text{яв}} = \frac{1}{N_{\text{обсл}}} \cdot F \cdot C \quad (69)$$

где  $N_{\text{обсл}}$  – норма обслуживания (количество аппаратов, которое может обслужить один аппаратчик),  $N = 3$ ;

$F$  – количество установок,  $F = 17$ ;

$C$  – количество смен в сутки,  $C = 3$ .

$$N_{\text{яв}} = \frac{1}{3} \cdot 17 \cdot 3 = 17 \text{ чел.}$$

2. Списочное число основных рабочих определяется по формуле:

$$N_{\text{сп}} = N_{\text{яв}} \cdot \frac{T_{\text{эф.обор}}}{T_{\text{эф.раб}}} \quad (70)$$

где  $T_{\text{эф.обор}}$  – проектируемое число дней работы оборудования в год, с учетом технического обслуживания,  $T_{\text{эф.обор}} = 350$  дней;

$T_{\text{эф.раб}}$  – проектируемое число дней работы одного рабочего в год,  $T_{\text{эф.раб}} = 239$  дней.

$$N_{\text{сп}} = 17 \cdot \frac{350}{239} = 24 \text{ человек}$$

Однако, в сутках работу производит три сменные бригады (примем 27 человек), еще одна бригада отдыхает (9 человек). С учетом возможных невыходов на работу, принимаем списочное число основных рабочих – 36 человек.

3. Численность вспомогательного и дежурного персонала: дежурный слесарь – 1, дежурный электрик – 1, дежурный КИПиА – 1.

4. Численность ИТР, служащих и прочего персонала представлено в таблице 7.8.

Таблица 7.8 – Численность ИТР, служащих и прочего персонала

Наименование должности	Категория	Число штатных единиц, чел.
Начальник цеха	ИТР	1
Технолог цеха	ИТР	1
Мастер смены	ИТР	4

Продолжение таблицы 7.8

Табельщик	служащий	1
Уборщица	МОП	2
Итого		9

### 7.3 Расчет годового фонда заработной платы основных рабочих

Для определения расчетного используется формула:

$$Z_{\text{год}} = Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}} \quad (71)$$

где  $Z_{\text{осн}}$  – основной фонд;

$Z_{\text{доп}}$  – дополнительный фонд.

Основной фонд заработной платы рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{тар}} + D_{\text{н.вр}} + D_{\text{п.дн}} + D_{\text{пр}} + D_{\text{вред}} \quad (72)$$

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

$D_{\text{н.вр}}$  – доплата за работу в ночное время (40 % от  $Z_{\text{тар}}$ );

$D_{\text{п.дн}}$  – доплата за работу в праздничные дни (100 % от  $Z_{\text{тар}}$ );

$D_{\text{пр}}$  – доплата премий (30 % от  $Z_{\text{тар}}$ );

$D_{\text{вред}}$  – доплата за вредность (20 % от  $Z_{\text{тар}}$ ).

Тарифный фонд времени рассчитывается по тарифным ставкам, исходя из отработанного времени:

$$Z_{\text{тар}}^i = H_{\text{сп}}^i + T_{\text{эф.раб}} + T_{\text{ст}}^i \quad (73)$$

где  $H_{\text{сп}}^i$  – списочное число рабочих  $i$ -ой квалификации,  $H_{\text{сп}}^i = 36$ ;

$T_{\text{эф.раб}}$  – эффективное время работы одного среднесписочного рабочего,  
 $T_{\text{эф.раб}} = 8 \text{ ч в день} = 1912 \text{ ч в год}$ ;

$T_{\text{ст}}^i$  – тарифная часовая ставка,  $T_{\text{ст}}^i = 120 \text{ руб./час}$ .

$$Z_{\text{тар}}^i = 36 \cdot 1912 \cdot 120 = 8259840 \text{ руб./год}$$

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

$$D_{\text{н.вр}} = H_{\text{сп}}^i \cdot n_{\text{н.вр}} \cdot T_{\text{ст}}^i \cdot t_{\text{см}} \cdot \Pi \quad (74)$$

где  $n_{н.вр}$  – количество ночных смен в году,  $n_{н.вр} = 91$ ;

$t_{см}$  – продолжительность смены,  $t_{см} = 8$  час;

$\Pi$  – процент отчисления,  $\Pi = 0,4$ .

$$D_{н.вр} = 36 \cdot 91 \cdot 120 \cdot 8 \cdot 0,4 = 1257984 \text{ руб./год}$$

Доплата за работу в праздничные дни осуществляется по двойным тарифным ставкам:

$$D_{п.дн} = H_{яв}^i \cdot N \cdot T_{ст}^i \cdot t_{см} \quad (75)$$

где  $H_{яв}^i$  – явочная численность рабочих  $i$ -ой квалификации в сутки,  $H_{яв}^i = 17$ ;

$N$  – количество праздничных дней в году, принято 14 дней по производственному календарю 2016 г.

$$D_{п.дн} = 17 \cdot 14 \cdot 120 \cdot 8 = 228480 \text{ руб./год}$$

Дополнительный фонд заработной платы рассчитывается по формуле:

$$Z_{доп} = Z_{осн} \cdot \Pi_{д.зп} \quad (76)$$

где  $\Pi_{д.зп}$  – процент доплаты (принимается в размере 10%).

$$\begin{aligned} Z_{осн} &= 8259840 + 1257984 + 228480 + 2477952 + 1651968 = \\ &= 13876224 \text{ руб./год} \end{aligned}$$

$$Z_{доп} = 13876224 \cdot 0,1 = 1387622 \text{ руб./год}$$

Годовой фонд заработной платы основных рабочих представлен в таблице 7.9.

Таблица 7.9 – Годовой фонд заработной платы основных рабочих

Категория рабочих	Основные		
Разряд	5		
Тарифная ставка	$T_{ст}^i$	руб./час	120
Численность списочных рабочих	$H_{сп.}$	чел.	36
Фонд рабочего времени	$T_{эф.раб.}$	час	1912
Тарифный фонд	$Z_{тар}$	руб./год	8259840
Доплата за ночное время	$D_{н.вр.}$	руб./год	1257984
Доплата за праздничные дни	$D_{п.дн.}$	руб./год	228480
Доплата за вредность	$D_{вред.}$	руб./год	1651968
Доплата премий	$D_{пр.}$	руб./год	2477952
Основной фонд	$Z_{осн.}$	руб./год	13876224
Дополнительный фонд	$Z_{доп.}$	руб./год	1387622

Продолжение таблицы 7.9

Годовой фонд заработной платы	$Z_{год.}$	руб./год	15263846
-------------------------------	------------	----------	----------

#### 7.4 Расчет годового фонда заработной платы ИТР, служащих и прочего персонала

Тарифный фонд оплаты ИТР, служащих и прочего персонала рассчитывается по формуле:

$$Z_{тар} = P_{мес} \cdot T_{окл} \quad (77)$$

где  $P_{мес}$  – число месяцев, отработанных в год каждым работником;

$T_{окл}$  – штатный месячный оклад, руб.

Число месяцев в году для ИТР принимаем равным – 11 месяцам, для служащих и прочего персонала – 11,3 месяца.

Таблица 7.10 – Состав инженерно-технического персонала, служащих и вспомогательных рабочих

Наименование должности	Месячный оклад, руб.
Начальник цеха	40 000
Технолог цеха	30 000
Мастер смены	25 000
Табельщик	18 000
Уборщица	10 000
Дежурный слесарь	15 000
Дежурный электрик	18 000
Дежурный КИПиА	18 000

Основная заработная плата ИТР, служащих и пр. персонала рассчитывается по формуле:

$$Z_{осн} = Z_{тар} + D_{п.дн} + D_{вред} \quad (78)$$

$$D_{п.дн} = \frac{T_{окл}}{n} \cdot N \cdot H_{яв} \quad (79)$$

где  $T_{окл}$  – месячный оклад;

$N$  – количество праздничных дней в году,  $N = 14$ ;

$n$  – среднемесячное число рабочих дней,  $n = 26,5$  ;

$D_{вред}$  – доплата за вредность (20% от  $Z_{ТАР}$ ).

Пример расчета заработной платы для начальника цеха:

$$Z_{\text{тар}} = 11 \cdot 40000 = 440000 \text{ руб./год}$$

$$D_{\text{п.дн}} = \frac{40000}{26,5} \cdot 14 \cdot 1 = 21132 \text{ руб./год}$$

$$Z_{\text{осн}} = 440000 + 21132 + 88000 = 549132 \text{ руб./год}$$

Таблица 7.11 – Результаты расчетов доплаты в праздничные дни и за вредность ИТР, служащих и вспомогательных рабочих

Наименование должности	Категория	Число шт. ед.	$D_{\text{п.дн}}$ , руб./год	$D_{\text{вред}}$ , руб./год
Начальник цеха	ИТР	1	21132	88000
Технолог цеха		1	15849	66000
Мастер смены		4	52830	55000
Табельщик	Служ.	1	9509	40680
Уборщица	МОП	2	10566	22600
Деж. слесарь	Вспом. рабоч.	4	31698	33900
Деж. электрик		4	38037	40680
Деж. КИПиА		4	38037	40680
Итого		21	217658	387540

Дополнительную заработную плату ИТР, служащих и прочего персонала принимаем в размере 10%.

Таблица 7.12 – Результаты расчетов заработной платы ИТР, служащих и вспомогательных рабочих

Наименование должности	Категория	Число шт. ед.	$Z_{\text{тар}}$ , руб./год	$Z_{\text{осн}}$ , руб./год	$Z_{\text{доп}}$ , руб./год	$Z_{\text{год}}$ , руб./год
Начальник цеха	ИТР	1	440000	549132	54913,2	604045,2
Технолог цеха		1	330000	411849	41184,9	453033,9
Мастер смены		4	275000	382830	38283,0	421113,0
Табельщик	Служ.	1	203400	253589	25358,9	278947,9
Уборщица	МОП	2	113000	146166	14616,6	160782,6
Деж. Слесарь	Вспом. Рабоч	4	169500	235098	23509,8	258607,8
Деж. Электрик		4	203400	282117	28211,7	310328,7
Деж. КИПиА		4	203400	282117	28211,7	310328,7
Итого		21	1937700	2298309	254289,8	2797187,8

## 7.5 Общепроизводственные расходы

### 7.5.1 Расходы на содержание здания

Затраты на содержание здания примем равными 2 % от стоимости здания:

$$З_{\text{сод}} = 5322744 \cdot 0,02 = 106454,88 \text{ руб./год.}$$

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

$$З_{\text{т.р}} = 5322744 \cdot 0,02 = 106454,88 \text{ руб./год.}$$

Амортизационные отчисления на здание рассчитываются по формуле:

$$A_{\text{зд}} = C_{\text{зд}} \cdot \frac{1}{\alpha} \quad (80)$$

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

$$A_{\text{зд}} = 5322744 \cdot \frac{1}{30} = 177424,8 \text{ руб./год}$$

Сумма затрат на содержание и эксплуатацию здания:

$$\sum Z_1 = A_{\text{зд}} + Z_{\text{сод}} + Z_{\text{т.р}} \quad (81)$$

$$\sum Z_1 = 177424,8 + 106454,88 + 106454,88 = 390334,56 \text{ руб./год}$$

### 7.5.2 Расходы на содержание оборудования

Фонд для ремонта оборудования составляет 15 % от стоимости оборудования:

$$З_{\text{т.р}} = 19677285 \cdot 0,15 = 2951592,75 \text{ руб./год.}$$

Расходы на содержание оборудования составляют 5 % от стоимости оборудования:

$$З_{\text{сод}} = 19677285 \cdot 0,05 = 983864,25 \text{ руб./год.}$$

Амортизационные отчисления на оборудование составляют 10% от стоимости оборудования:

$$A_{\text{об}} = 19677285 \cdot 0,1 = 1967728,5 \text{ руб./год.}$$

Сумма расходов на содержание и эксплуатацию оборудования:

$$\sum Z_2 = A_{об} + Z_{сод} + Z_{т.р} \quad (82)$$

$$\sum Z_2 = 1967728,5 + 983864,25 + 2951592,75 = 5903185,5 \text{ руб./год}$$

Общепроизводственные расходы составляют:

$$Z_{общ} = 390334,56 + 5903185,5 = 6293520,06 \text{ руб./год.}$$

## 7.6 Расчет технологических затрат

### 7.6.1 Затраты на электроэнергию

Затраты на электроэнергию определяются по следующей формуле:

$$Z_{эл} = C_{эл} \cdot W \cdot T_{р.обор} \quad (83)$$

где  $C_{эл}$  – стоимость 1 кВт·ч электроэнергии, руб. (4,2 руб.);

$W$  – потребляемая мощность, кВт;

$T_{р.обор}$  – время работы оборудования в год ( $350 \cdot 24 = 8400$  ч).

Потребляемая мощность оборудования: щековая дробилка – 2,2 кВт; валковая дробилка – 2,2 кВт; шаровая мельница – 0,7 кВт; компрессор, 3 шт – 1,7 кВт; перемешивающее устройство, 3 шт – 4,37 кВт; шнековый питатель, 3 шт – 2,9 кВт; центрифуга, 3 шт – 3,88 кВт; барабанная вращающаяся печь – 2,4 кВт; процент запаса – 15 % от общего потребления электроэнергии оборудованием.

$$\begin{aligned} W_{об} &= 2,2 + 2,2 + 0,7 + (3 \cdot 1,7) + (3 \cdot 4,37) + (3 \cdot 2,9) + (3 \cdot 3,88) + 2,4 = \\ &= 46,05 \text{ кВт} \end{aligned}$$

$$W = 46,05 + (46,05 \cdot 0,15) = 52,96 \text{ кВт}$$

$$Z_{эл} = 4,2 \cdot 52,96 \cdot 8400 = 1868340,6 \text{ руб./год}$$

### 7.6.2 Затраты на освещение

Затраты на освещение определяются по следующей формуле:

$$Z_{эл} = C_{эл} \cdot W_{осв} \quad (84)$$

$$W_{\text{осв}} = \frac{W_{S_{\Pi}} \cdot S_{\Pi} \cdot M \cdot m}{1000} \quad (85)$$

где  $W_{S_{\Pi}}$  – количество Ватт на 1 м<sup>2</sup> пола,  $W_{S_{\Pi}} = 15$  Вт;

$S_{\Pi}$  – площадь пола,  $S_{\Pi} = 600$  м<sup>2</sup>;

$M$  – количество часов искусственного освещения в сутки,  $M = 24$  ч;

$m$  – число дней работы производства в году,  $m = 365$  дней.

$$W_{\text{осв}} = \frac{15 \cdot 600 \cdot 24 \cdot 365}{1000} = 788400 \text{ кВт/год}$$

$$Z_{\text{эл}} = 4,2 \cdot 788400 = 3311280 \text{ руб./год}$$

### 7.6.3 Затраты на вентиляцию

Затраты на вентиляцию определяются по следующей формуле:

$$Z_{\text{эл}} = C_{\text{эл}} \cdot W_{\text{вент}} \quad (86)$$

$$W_{\text{вент}} = P_{\text{эд}} \cdot 24 \cdot m \quad (87)$$

где  $P_{\text{эд}}$  – мощность электродвигателя,  $P_{\text{эд}} = 20$  кВт.

$$W_{\text{вент}} = 20 \cdot 24 \cdot 365 = 175200 \text{ кВт/год}$$

$$Z_{\text{эл}} = 4,2 \cdot 175200 = 735840 \text{ руб./год}$$

### 7.6.4 Затраты на отопление

Затраты на отопление определяются по следующей формуле:

$$Z_{\text{эл}} = C_{\text{эл}} \cdot P_{\text{от}} \quad (88)$$

$$P_{\text{от}} = \frac{\alpha \cdot T \cdot V}{1000} \quad (89)$$

где  $\alpha$  – количество тепла на 1 м<sup>3</sup> помещения,  $\alpha = 41$  Вт;

$T$  – продолжительность отопительного сезона,  $T = 5448$  ч;

$V$  – объем отапливаемого помещения.  $V = 2850$  м<sup>3</sup>.

$$P_{\text{от}} = \frac{41 \cdot 5448 \cdot 2850}{1000} = 636598,8 \text{ кВт/год}$$

$$Z_{\text{эл}} = 4,2 \cdot 636598,8 = 2673714,96 \text{ руб./год}$$

## 7.7 Затраты на ОТ и ТБ

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

$$З_{\text{ОТ и ТБ}} = 18061033,8 \cdot 0,15 = 2709155,07 \text{ руб./год.}$$

## 7.8 Отчисления на социальные нужды

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

$$З_{\text{соц}} = 18061033,8 \cdot 0,30 = 5418310,14 \text{ руб./год.}$$

## 7.9 Калькуляция себестоимости передела

Себестоимость передела на определенный объем производства титанового порошка равный 252000 кг в год, определяется в результате анализа таблицы 7.13.

Таблица 7.13 – Калькуляция себестоимости передела

Статьи затрат	Ед. изм.	Цена, руб.	Норма в год	Сумма руб./год
1. Катодный осадок: KF, KCl, K <sub>2</sub> TiF <sub>6</sub> , Ti	т	88850	1713,60	152253360,0
2. HF <sub>(б/в)</sub>	т	15240	681,105	10380040,20
3. Антифриз (ASTM D 3306)	м <sup>3</sup>	79664	5,211	412129,11
Электроэнергия на тех. нужды	кВт	4,2	2045062,8	8589263,76
<b>Итого условно-переменные затраты</b>				<b>136045529,3</b>
Фонд ЗП:				
- основных рабочих	руб.			15263846,00
- ИТР, служащих, пр.персонала и вспомогательных рабочих	руб.			2797187,80
Отчисления на соц. нужды	руб.			5418310,14

Продолжение таблицы 7.13

Расходы на содержание и эксплуатацию оборудования: – амортизация оборудования – тек. и кап. ремонты – содержание оборудования	руб. руб. руб.			1967728,50 2951592,75 983864,25
Цеховые расходы: – амортизация здания – содержание здания – тек. и кап. ремонты – расходы на ОТ и ТБ	руб. руб. руб. руб.			177424,80 106454,88 106454,88 2709155,07
Общепроизводственные расходы	руб.			6293520,06
<b>Итого условно-постоянные затраты</b>				<b>32482019,07</b>
<b>Себестоимость передела</b>				<b>195527548,4</b>

Удельная себестоимость передела составит:

$$C_{уд} = \frac{C_{с.п.}}{П} \quad (90)$$

$$C_{уд} = \frac{195527578,4}{252000} = 775 \text{ руб./кг}$$

### 7.10 Анализ безубыточности

Цена продукции ( $C_{пр}$ ) рассчитывается по формуле:

$$C_{пр} = C_{уд} + P \cdot \frac{C_{уд}}{100} \quad (91)$$

где  $C$  – себестоимость единицы продукции, руб.;

$P$  – рентабельность продукции, %.

Принимаем цену готового продукта на 30 % больше себестоимости:

$$C_{пр} = 775 + 30 \cdot \frac{775}{100} = 1007,5 \text{ руб./кг}$$

Тогда точка безубыточности определится следующим образом:

$$Q_{т.б.} = \frac{C_{пост}}{C_{пр} - C_{пер.уд}}, \quad (92)$$

где  $C_{пост}$  – постоянные затраты, руб./год;

$C_{пр}$  – цена готового продукта, руб./кг;

$C_{пер.уд}$  – переменные удельные затраты на единицу продукта,  $C_{пер.уд} = 539,86$  руб./кг.

$$Q_{т.б.} = \frac{32482019,07}{1007,5 - 539,86} = 69459,45 \text{ кг/год}$$

График анализа безубыточности представлен на рисунке 7.1.

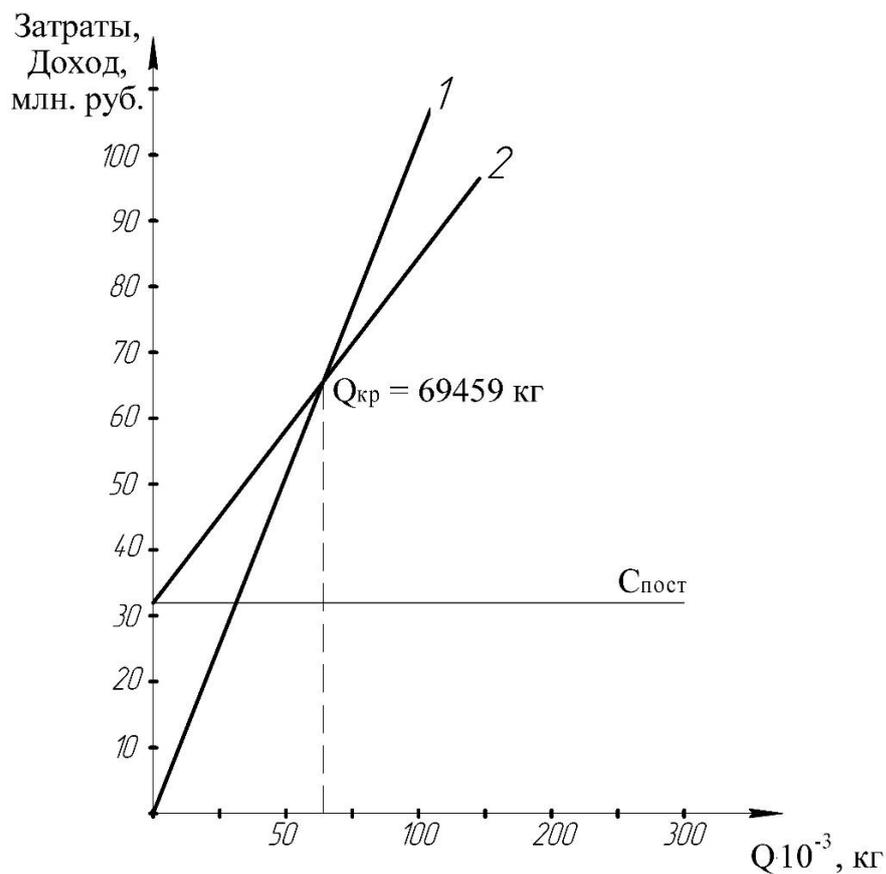


Рисунок 7.1 – График безубыточности

1 – прямая соответствует выручке от реализации титанового порошка. 2 – прямая соответствует себестоимости титанового порошка.

Так как производительность проектируемого цеха составляет 252000 кг/год, а  $Q_{кр} = 69459$  кг/год, следовательно, проектируемый цех будет работать с прибылью.

## 7.11 Вывод по разделу

Введение данной технологии отмывки титанового порошка приведет к следующим изменениям:

- 1) Уменьшение себестоимости получаемого титана;
- 2) Сокращение количества основных рабочих за счет автоматизации процесса;
- 3) Сокращение времени выполнения технологических операций;
- 4) Сокращение потерь рабочего времени;
- 5) Сокращение времени и затрат на транспортировку предметов труда;

## **Заключение**

В ходе выполнения данного дипломного проекта были достигнуты следующие результаты:

1. Разработана технологическая схема процесса отмывки титанового порошка от солей электролита;
2. Предложено аппаратное оформление разработанной технологической схемы;
3. Рассчитаны материальный и тепловой балансы трех стадий отмывки титанового порошка;
4. Спроектирован и рассчитан основной аппарат – аппарат-растворитель с механическим перемешивающим устройством;
5. Подобрано все необходимое оборудование для проведения процесса отмывки титанового порошка
6. Разработана функциональная схема автоматизации, которая обеспечивает управление процессом и сокращает численность персонала;
7. Представлены основные размеры здания, произведено планирование помещений и размещение оборудования;
8. Определены факторы, влияющие на безопасное ведение работ в проектированном цехе;
9. Рассчитаны основные технико-экономические показатели, которые подтверждают эффективность и перспективность данного проекта.

## Список использованных источников

1. Osaki S., Sakai H., Suzuki R.O. Electrochemical Society. - Tokyo: University of Tokyo, 2010. – 234 с.
2. Suzuki R.O., Inoue S. Metall. Mater. Trans. B. - Tokyo: TMS, 2003. – 197 с.
3. Loutfy R., Withers J.C. Thermal and Electrochemical Process for Metal Production. – Chicago: University of Illinois at Chicago, 2007. – 96 с.
4. Коровин С.С., Зими́на Г.В., Резник А.М. и др. Книга II // Под ред. С.С. Коровина. – М.: МИСИС, 1997. – 376 с.
5. Tsunhao Z. USTB process. – Peking: Peking University, 2008. – 96 с.
6. Takeda O., Okabe T.H. A new high speed titanium production by subhalide reduction process. - Tokyo: TMS, 2005. – 169 с.
7. Карелин В.А., Дубровин А.В., Ворошилов Ф.А. Перспективные технологии получения титана. – Томск: Издательство ТПУ, 2013. – 102 с.
8. Okabe T.H. Reaction Pathways During Metallothermic Reduction of  $TiCl_4$  by Utilizing Chemical Potential Diagrams. Titanium Extraction and Processing. – Tokyo: TMS, 1997. – 151 с.
9. Гармата В.А., Гуляницкий В.С., Крамник В.Ю. Metallurgy of titanium. – М.: Metallurgy, 1968. – 643 с.
10. Chrenkova M., Danielik V. Properties of the System  $KF-KCl-KBF_4-K_2TiF_6$ . – London: University of London, 2001. – 80 с.
11. Карапетьянц М.Х. Основные термодинамические константы органических и неорганических веществ. – М.: Химия, 1968. – 469 с.
12. Тураев Н.С., Брус И.Д., Кантаев А.С. Расчет шнекового транспортера. – Томск: Издательство ТПУ, 2015. – 41 с.
13. Лацинский А.А. Основы конструирования и расчет химической аппаратуры. – М.: Машиностроение, 1970. – 752 с.
14. Коптева В.Б. Опоры вертикальных и горизонтальных аппаратов. – М.: МГТУ, 2005. – 44 с.

15. Леонтьева А.И. Оборудование химических производств. – Тамбов: Издательство ФГБОУ ВПО "ТГТУ", 2012. – 236 с.
16. ООО «Вибротехник» [Электронный ресурс] / Лабораторные средства измельчения и отсева; ред. Галкина А. П.; Web-мастер Митрошенко С. С. – Электрон. дан. – Санкт - Петербург, 2004. URL: <http://www.vt-spb.ru/>, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус., англ. Дата обращения 16.11.2016 г.
17. Термодинамические параметры [Электронный ресурс] / База данных ТКВ; ред. Костомаров И. И.; Web-мастер Лореонов А. С. – Электрон. дан.– М.: 2013. URL: <http://www.chem.msu.ru/cgi-bin/tkv.pl>, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. Рус. Дата обращения: 11.11.2016г.
18. Центральный металлический портал РФ [Электронный ресурс] / Центр информационных технологий Всероссийского научного центра; ред. Осмачкин В. С.; Web-мастер Алексеев А. П. – Электрон. дан. – М.: МВНЦ, 2003. URL: <http://metallicheskiy-portal.ru/>, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус., англ. Дата обращения 21.11.2016 г.
19. Основы автоматизации производства: учебник для среднего специального образования / И. Г. Мясковский. – 2-е изд., испр. и доп.. – М.: Высшая школа, 1968. – 400 с.
20. Автоматизация проектирования химических производств / С. С. Хачатрян, Г. Г. Арунянц. – М.: Химия, 1984. – 208 с.
21. Автоматизация производственных процессов и АСУП в химической промышленности: учебник / В. А. Голубятников, В. В. Шувалов. – М.: Химия, 1978. – 375 с.
22. Автоматизация технологических процессов [Электронный ресурс] / НПО Микрорадар; ред. Артемьев К.Л.; Web-мастер Мамонов А. С. – Электрон. дан. – М.: 2006. URL: <http://www.microradartest.com>, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. Рус. Дата обращения: 03.1.2016 г.
23. Трудовое право России. Учебник под редакцией Орловского Ю.П., Нуртдиновой А.Ф. – М.: МЦФЭР, 2004. – 880 с.

24. Кораблев В.П. Электробезопасность на химических предприятиях. – М.: Химия, 1977. – 256 с.
25. Кушелев В.П. Основы техники безопасности на предприятиях химической промышленности. – М.: Химия, 1974. – 358 с.
26. Бадагуев Б.Т. Пожарная безопасность на предприятии. – издательство Альфа-пресс, 2010. – 139 с.
27. Охрана труда. Информационный ресурс\_[Электронный ресурс] / Охрана труда; ред. Колизеев А.И.; Web-мастер Рысс Э.С. – Электрон. дан. – М.: 2003. URL:<http://ohrana-bgd.narod.ru/>, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус., англ. Дата обращения 01.12.2016 г.
28. Проблемы современной энергетики [Электронный ресурс] / Центр информационных технологий Института проблем безопасного развития атомной энергетики Российской академии наук; ред. Афанасьев Ю. А.; Web-мастер Назрович Н. Н. – Электрон. дан. – М.: Институт проблем безопасного развития атомной энергетики, 1999. URL: <http://www.russianatom.ru>, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус., англ. Дата обращения 26.11.2016 г.
29. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация. ГОСТ 12.0.003-74. – Введ. 13.10.1974. – М.: Издательство стандартов, 1974. – 27 с.
30. Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны. Гигиенические нормативы. ГН 2.2.5.686-98. – Введ. 04.02.1998. – М.: Издательство стандартов, 1998. – 32 с.
31. Костюмы мужские для защиты от механических воздействий, воды и щелочей. Технические условия. ГОСТ 27653–88. – Введ. 28.03.1998. – М.: Издательство стандартов, 1988. – 11 с.
32. Респираторы ШБ–1 «Лепесток». Технические условия. ГОСТ 12.4.028–76 ССБТ. – Введ. 30.06.1977. – М.: Государственный комитет СССР, 1977. – 12 с.

33. Очки защитные. Номенклатура показателей качества. ГОСТ 12.4.153–85 ССБТ. – Введ. – 26.02.1985. – М.: Государственный комитет СССР, 1985. – 15 с.
34. Средства индивидуальной защиты. Рукавицы специальные. Технические условия. ГОСТ 12.4.010–75 ССБТ. – Введ. 01.01.1975. – М.: Государственный комитет СССР, 1975. – 6 с.
35. Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты. ГОСТ 12.1.019-79 ССБТ. – Введ. 01.07.1980. – М.: Государственный комитет СССР, 1980. – 16 с.
36. Пожарная безопасность зданий и сооружений. СНиП 21-01-97. – Введ. 01.01.1998. – М.: Издательство стандартов, 1998. – 10 с.
37. Шум. Общие требования безопасности. ГОСТ 12.1.003-83. – Введ. 01.07.1984. – М.: Государственный комитет СССР, 1984. – 12 с.
38. Система стандартов безопасности труда. Средства индивидуальной защиты органа слуха. Вкладыши. Общие технические требования. ГОСТ Р 12.4.209-99. – Введ. 28.12.1999. – М.: Издательство стандартов, 2000. – 11 с.
39. Система стандартов безопасности труда. Средства индивидуальной защиты органа слуха. Наушники. Общие технические требования. ГОСТ Р 12.4.208-99. – Введ. 28.12.1999. – М.: Издательство стандартов, 2000. – 13 с.
40. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений. Санитарные правила и нормы. СанПиН 2.2.4.548-96. – Введ. 31.03.1986. – М.: Государственный комитет СССР, 1986. – 9 с.
41. Строительные нормы и правила. Отопление, вентиляция и кондиционирование. СНиП 2.04.05-91. – Введ. 01.01.1992. – М.: Издательство стандартов, 1993. – 24 с.
42. Естественное и искусственное освещение. СНиП 23-05-95. – Введ. 02.08.1995. – М.: Издательство стандартов, 1995. – 22 с.
43. Федеральный закон "Об охране окружающей среды" от 10.01.2002 N 7-ФЗ. – Введ. 20.12.2001. – М., 2001. – 46 с.

44. Гигиенические требования к охране атмосферного воздуха населенных мест. Санитарные правила и нормы. СанПиН 2.1.6.575-96. – Введ. 31.10.1996. – М., 1996. – 13 с.

45. Ассоциации Строительных Компаний «МосПромСтрой» [Электронный ресурс]; ред. Горчичников А.Ю.; Web-мастер Прохоров Н. Н. – Электрон. дан. – М.: АСК «МосПромСтрой», 2000. URL: <http://http://www.mospromstroy.net>, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус., англ. Дата обращения 07.12.2016 г.

46. Криницына З.В., Видяев И.Г. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение. – Издательство Томского политехнического университета, 2014. – 73 с.