

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования

«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Институт: Физико-технический

Специальность: 240601 Химическая технология материалов современной энергетики

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

ДИПЛОМНЫЙ ПРОЕКТ

Тема работы

Проект цеха для выделения металлического титана из катодного осадка
производительностью 50 тонн в год

УДК 66.021.3

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0401	Люфт Виктория Владимировна		18.12.15

Руководитель

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

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Тухватулина Л. Р.	к.ф.н.		23.12.2015

По разделу «Социальная ответственность»

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

По разделу «Автоматизация процесса»

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

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

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

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

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
<i>Профессиональные компетенции</i>	
Р1	Демонстрировать глубокие естественнонаучные, математические и инженерные знания и детальное понимание научных принципов профессиональной деятельности
Р2	Ставить и решать инновационные задачи, связанные с получением и переработкой материалов и изделий ядерного топливного цикла, с использованием моделирования объектов и процессов химической технологии материалов современной энергетики
Р3	Эксплуатировать и совершенствовать действующие, разрабатывать и внедрять новые современные высокотехнологичные процессы и линии автоматизированного производства, обеспечивать их высокую эффективность, контролировать расходование сырья, материалов, энергетических затрат
Р4	Обеспечивать радиационную безопасность, соблюдать правила охраны здоровья и труда при проведении работ, выполнять требования по защите окружающей среды; оценивать радиационную обстановку; осуществлять контроль за сбором, хранением и переработкой радиоактивных отходов различного уровня активности с использованием передовых методов обращения с РАО
Р5	Уметь планировать и проводить аналитические, имитационные и экспериментальные исследования в области изучения свойств и технологии материалов современной энергетики с использованием новейших достижений науки и техники, уметь обрабатывать и критически оценивать полученные данные, делать выводы, формулировать практические рекомендации по их применению; использовать основы изобретательства, правовые основы в области интеллектуальной собственности
Р6	Разрабатывать новые технологические схемы, рассчитывать и выбирать оборудование, применять средства автоматизации, анализировать технические задания и проекты с учетом ядерного законодательства

<i>Универсальные компетенции</i>	
P7	Представлять современную картину мира на основе целостной системы естественнонаучных и математических знаний, ориентироваться в ценностях бытия, жизни, культуры; иметь широкую эрудицию, в том числе знание и понимание современных общественных и политических проблем
P8	Воспринимать, обрабатывать, анализировать и обобщать научно-техническую информацию, передовой отечественный и зарубежный опыт в области изучения свойств, методов и технологий получения и переработки материалов современной энергетики
P9	Применять иностранный язык в сфере коммуникаций и профессиональной деятельности, представлять результаты научных исследований и разработок в виде отчетов, публикаций, публичных обсуждений
P10	Уметь эффективно работать индивидуально, в качестве члена команды по междисциплинарной тематике, руководить командой, быть способным оценивать, принимать организационно-управленческие решения и нести за них ответственность; следовать корпоративной культуре организации, кодексу профессиональной этики, ответственности и нормам инженерной деятельности
P11	Понимать необходимость и уметь самостоятельно учиться и повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности

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

Институт: Физико-технический

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

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

УТВЕРЖДАЮ:

Зав. кафедрой

 Р.И. Крайденко

(Подпись) (Дата)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

дипломного проекта

Студенту:

Группа	ФИО
0401	Люфт Виктория Владимировна

Тема работы:

Проект цеха для выделения металлического титана из катодного осадка производительностью 50 тонн/год

Утверждена приказом директора (дата, номер)

13.11.2015 № 8928/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:

18 января 2016 года

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе

(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).

Цех для выделения металлического титана из катодного осадка производительностью 50 тонн/год. Основной аппарат-реактор - растворитель с лопастной мешалкой. Состав катодного порошка: 42,5% - Ti; 28,75% - LiF; 27,05% - KF; 1,72% - NaF. В качестве растворителя выступает безводный HF.

Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов

1. Введение. ТЭО.
2. Аналитический обзор существующих методов.
3. Теория выбранного процесса. Разработка и описание аппаратно-технологической схемы.
4. Расчетная часть.
 - 4.1. Расчет материального баланса.
 - 4.2. Расчет теплового баланса.
 - 4.3. Аппаратный расчет. Расчет геометрии и габаритов аппаратов технологической схемы.

	4.4. Механический расчет основного аппарата. 4.5. Гидравлический расчет. 4.6. Энергетический расчет. 5. Автоматизация процесса. 6. Строительная часть. 7. Охрана труда и техника безопасности. 8. Расчет периода окупаемости предприятия.
Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	1. Блок-схема с материальными потоками. 2. Аппаратурно-технологическая схема. 3. План размещения оборудования. 4. Разрез цеха. 5. Сборочный чертеж основного аппарата А1 (ГОСТ 2.001-93..2.034-83). 6. Техничко-экономические показатели.

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы

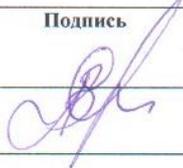
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Тухватулина Л. Р.
Социальная ответственность	Усов В. Ф.
Автоматизация процесса	Вильнина А. В.

Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:

--

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

Задание выдал руководитель:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0401	Люфт В.В.		12.10.15

Реферат

Выпускная квалификационная работа 94 с., 16 рис., 34 табл., 20 источников, 2 прил.

Ключевые слова: катодный осадок, титан, безводный HF.

Объектом разработки является разработка проекта цеха для выделения металлического титана из катодного осадка.

Цель проекта – спроектировать цех для выделения металлического титана из катодного осадка 50 тонн в год.

В результате разработки был проведен литературный обзор существующих технологий выделения титана и конструкции реакторов - растворителей. Проведен расчет материальных и тепловых балансов технологической цепочки, всех технологических параметров, спроектировано здание цеха, рассчитана экономическая эффективность проекта.

Основные конструкционные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики разработанного реактора - растворителя: диаметр аппарата вместе с охлаждающей рубашкой составил - 1120 мм, высота аппарата - 3000 мм; используется вертикальный привод, выполненный из углеродистой стали футерованный фторопластом, тип I по МН 5855-66, с концевой опорой, мотор – редуктор типа МПО2 и электродвигателем серии АО2 , мощность 2,2 кВт, скорость вращения 6,6 рад/сек.

Экономическая эффективность: определена себестоимость процесса отмывки катодного осадка равная 831592687 руб.

ОПРЕДЕЛЕНИЯ, ОБОЗНАЧЕНИЯ, СОКРАЩЕНИЯ, НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ

В данной работе применены следующие термины с соответствующими определениями:

массообменные процессы: Процессы, скорость протекания которых определяется скоростью переноса вещества из одной фазы в другую.

катодный осадок: Продукт электролиза, состоящий из титанового порошка и смеси фторидных солей LiF, NaF, KF.

пульпа: Смесь твёрдых частиц и жидкости, негустая неоднородная система.

измельчение: Процесс уменьшения размеров частиц твёрдого тела до требуемых размеров путём механического воздействия.

техника безопасности: Система технических, санитарно - гигиенических и правовых мероприятий, обеспечивающих безопасные для жизни и здоровья условия труда работающих.

Масс. – массовый;

СИЗ – средства индивидуальной защиты;

ПДК – предельно допустимая концентрация;

ТБ – техника безопасности;

ОТ – охрана труда;

ФСА – функциональная схема автоматизации;

МОП – младший обслуживающий персонал;

ЗП – заработная плата;

ИТР – инженерно-технический работник.

В настоящем дипломном проекте использованы ссылки на следующие стандарты:

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

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

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

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

ГОСТ 2.301 - 68 Единая система конструкторской документации. Форматы.

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

ГОСТ 2.721 - 74 Единая система конструкторской документации. Обозначения условные графические в схемах. Обозначения общего применения. ГОСТ 3.1102 - 2011 Единая система технологической документации. Стадии разработки и виды документов.

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

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

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

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

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

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

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

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

ГОСТ 23838 - 89 Здания предприятий.

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

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

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

ГОСТ 12.4.127 - 83 ОСБТ. Обувь специальная кожаная.

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

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

ГОСТ 12.4.010 - 75 ОСБТ. Средства индивидуальной защиты. Рукавицы специальные. ТУ. ТУ 12.4.028 - 76 Респираторы У2К.

ГОСТ 101 - 82 Противогазы промышленные фильтрующие ТУ.

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

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

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

Оглавление

Введение.....	12
1 Обзор литературы	13
1.1 Теория процесса	13
1.2 Аппаратурное оформление процесса	19
2 Объект и методы исследования.....	24
2.1 Разработка и описание аппаратурно-технологической схемы	24
3 Расчеты и аналитика.....	26
3.1 Материальный баланс цеха выделения металлического титана.....	26
3.2 Материальный баланс узла растворения катодного осадка.....	28
3.3 Материальный баланс процесса сушки.....	30
3.4 Материальный баланс процесса центрифугирования	31
3.5 Тепловой расчет	32
3.6 Аппаратурный расчёт процесса отмывки катодного осадка	36
4 Результаты проведенного исследования	49
4.1 Разработки	49
4.2 Строительная часть	49
5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	58
5.1 Организация труда	58
5.2 Расчет годового фонда заработной платы	62
6 Социальная ответственность.....	76
6.1 Общая характеристика производства.....	76
6.2 Промышленная санитария.....	78
6.3 Вентиляция производственных помещений.....	78
6.4 Электробезопасность	79
6.5 Пожарная безопасность	80
6.6 Освещение	81
6.7 Мероприятия по защите от шума и вибрации	82
6.8 Мероприятия по охране окружающей среды	83

7	Автоматизация процесса.....	84
7.1	Составление функциональной схемы автоматизации.....	85
7.2	Описание функциональной схемы автоматизации.....	85
7.3	Перечень технологических параметров, подлежащих контролю, регулированию, сигнализации.....	87
	Заключение.....	92
	Список использованных источников.....	93
	Приложение А	
	Приложение Б	

Введение

Титан – элемент, который широко используется в промышленном производстве. Металлический титан и его сплавы, обладающие высокой коррозионной стойкостью, тугоплавкостью, лёгким весом, эти качества позволяют использовать титан в различных отраслях промышленности: в машиностроении, химической, космической, металлургической, авиационной, судостроении. Потребление титана составляет 60 - 70 тысяч в год.

Мировым лидером по производству титана является корпорация ВСМПО-АВИСМА. Корпорация поставляет на экспорт 70% своей титановой продукции, 30% идет на внутренний рынок. Основные российские потребители титана - авиастроительные заводы, а также работающие в кооперации с ними мотостроительные.

Для получения металлического титана применяют магниитермический способ, который включает операции: получение титановых концентратов; производство титанового шлака; производство четыреххлористого титана; восстановление четыреххлористого титана магнием; вакуумная сепарация реакционной массы; плавка титановой губки в вакуумных печах.

В настоящее время, титановая промышленность нуждается в разработке принципиально новых методов получения титана. Применение фторидной технологии получения титана позволяет снизить себестоимость продукции, получать титан высокой чистоты, производить процесс в замкнутом цикле.

В данной дипломной работе рассматриваются способы отмывки катодного осадка после процесса электролиза из фторидных расплавов, разрабатывается цех, для осуществления процесса отмывки.

1 Обзор литературы

В процессе электролиза титана из фторидных расплавов образуется катодный осадок, состоящий на 42,5% из Ti, 28,75% - LiF, 27,03% - KF и на 1,72% из NaF [1]. В данном разделе будет рассмотрен процесс разделения титанового порошка и фторидной эвтектики.

1.1 Теория процесса

Электролитическое получение титанового порошка, в процессе растворения TiF_4 во фторидной эвтектики солей щелочных металлов LiF-KF-NaF основано на образовании комплексной соли $Li_2(K_2Na_2)TiF_{6(ж)}$, которая хорошо растворяется во фторидном расплаве. Продуктом электролиза является порошок титана, находящийся в смеси с фторидной эвтектикой, образующийся на катоде. Состав катодного порошка приведён в таблице 1[1].

Таблица 1 – Состав катодного осадка, после электролиза

Элемент	Содержание, % масс.
Ti	42,50
LiF	28,75
KF	27,03
NaF	1,72

Для получения чистого титанового порошка, его необходимо отмыть от фторидных солей LiF, KF, NaF, от комплексных солей, которые содержат титан, от микропримесей, содержащихся в исходном титансодержащем сырье и солях фторидного электролита.

Для отмывки титанового осадка могут быть применимы два способа:

– «кислотная отмывка». Метода заключается в растворении предварительно измельченного катодного осадка в неорганических кислотах. Раствор после «кислотной отмывки» фильтруют, сушат и упаривают.

– отмывка катодного осадка безводным HF. Измельчённый катодный осадок растворяют в безводном HF. В процессе растворения микропримеси, фторидные соли переходят в раствор, а титан остаётся в виде порошка. Порошок сушат, а HF регенерируют и возвращают в процесс [1].

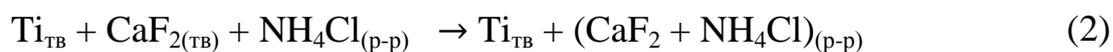
1.1.1 Выделения металлического титана по способу «кислотной отмывки»

Данный метод выделения титана является лабораторным. Перед «кислотной отмывкой» катодный осадок необходимо измельчить. Процесс измельчения проводят с помощью роторной мельницы, для более мелкого измельчения дополнительно проводят истирания в агатовой ступке. На первой стадии отмывки используют 5 %-ный раствор хлорида кальция в соляной кислоте, при соотношении фаз Т : Ж = 1 : 10, pH = 1- 5.



Пульпу после отмывки фильтруют на бумажном фильтре через воронку Бюхнера. Осадок после фильтрации содержит Ti и CaF₂.

На второй стадии отмывки используют 30 %-ный раствор хлорида аммония в соляной кислоте, при соотношении фаз Т : Ж = 1 : 10, pH = 1 - 5. В процессе отмывки, CaF₂ переходит в раствор, что позволяет отделить его от Ti.



Пульпа фильтруется на бумажном фильтре через воронку Бюхнера, так же для отделения твёрдой и жидкой фазы используют декантацию.

Для полной очистки титана от примесей, осадок промывается несколько раз по схеме, указанной выше.

Полученный порошок, содержащий титан, промывают пятнадцати процентным раствором HCl, затем водой до нейтрального pH, после промывки

титановый порошок сушат при температуре 90 °С. Пульпа отфильтровывается или разделяется декантацией [1].

При проведении метода в лабораторных условиях, потери титана составили не более 0,5 процентов. Так же к достоинствам данного метода можно отнести высокое качество получаемых титановых порошков.

Недостатками данного метода является низкий выход порошка титана в процессе отмывки, который связан с трудной фильтрацией образовавшейся суспензии, поэтому порошок и раствор разделяли методом декантации. Так же титан обладает высокой твёрдостью, что приводит к истиранию используемого оборудования и загрязнению порошков титана примесями. Главным недостатком данного метода является использование значительного количества химических реагентов, которые невозможно регенерировать и вернуть в процесс. Это не позволяет применять данный метод в промышленных условиях.

1.1.2 Отмывка катодного осадка безводным HF

Для катодного осадка после проведения процесса электролиза, состоящего из титанового порошка и фторидных солей электролита (FLiNaK), наилучшим растворителем является безводный фторид водорода. На рисунке 1 и 2 представлены диаграммы плавкости $\text{NaF} \cdot x\text{HF}$ и $\text{KF} \cdot x\text{HF}$ [1].

Если давление HF в исходном газе выше равновесного давления HF над $\text{NaF} \cdot \text{HF}$ при выбранной температуре, то образование $\text{NaF} \cdot \text{HF}$ по реакции 1 наблюдается при температуре от 20 до 250 °С. Как правило, $\text{NaF} \cdot \text{HF}$ образуется при 100 °С. Образующийся $\text{NaF} \cdot \text{HF}$ разлагается при умеренной температуре, что позволяет использовать NaF в качестве сорбента.

При повышенной концентрации HF в газовой фазе и температуре 60 °С происходит образование полигидрофторидов. В атмосфере сто процентного HF, $\text{NaF} \cdot 2\text{HF}$ образуется при температуре 60°С, $\text{NaF} \cdot 3\text{HF}$ при 50 °С, при 40 °С

образуется $\text{NaF} \cdot 4\text{HF}$. Полигидрофториды натрия – подвержены диссоциации на воздухе.

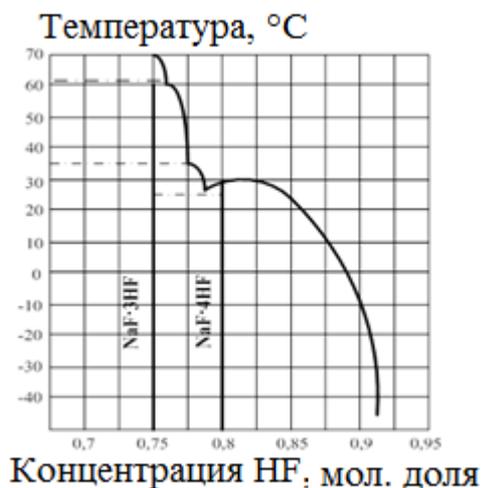


Рисунок 1 – Диаграмма плавкости системы NaF-HF

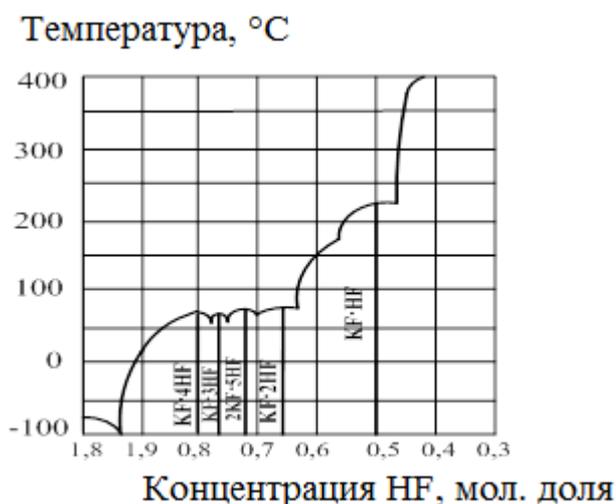


Рисунок 2 – Диаграмма плавкости двойной системы KF-HF

Из диаграммы плавкости двойной системы KF-HF видно, что при температуре 206 - 327 °С давление HF над твердым $\text{KF} \cdot \text{HF}$ при одинаковых условиях много меньше, чем над $\text{NaF} \cdot \text{HF}$. Это указывает на возможность использования KF как сорбента для HF [1].



Соединения KF, NaF, LiF хорошо растворяются в HF, что показано на рисунке 3. Для выбора оптимальных условий проведения процесса, необходимо рассмотреть влияние температуры на равновесную концентрацию HF. Из

рисунка 4 видно, что давление паров HF незначительно при температуре минус 20 °С, и составляет 3-5 процентов. Таким образом, температура минус 20 °С является оптимальной для проведения процесса отмывки с использованием безводного HF.

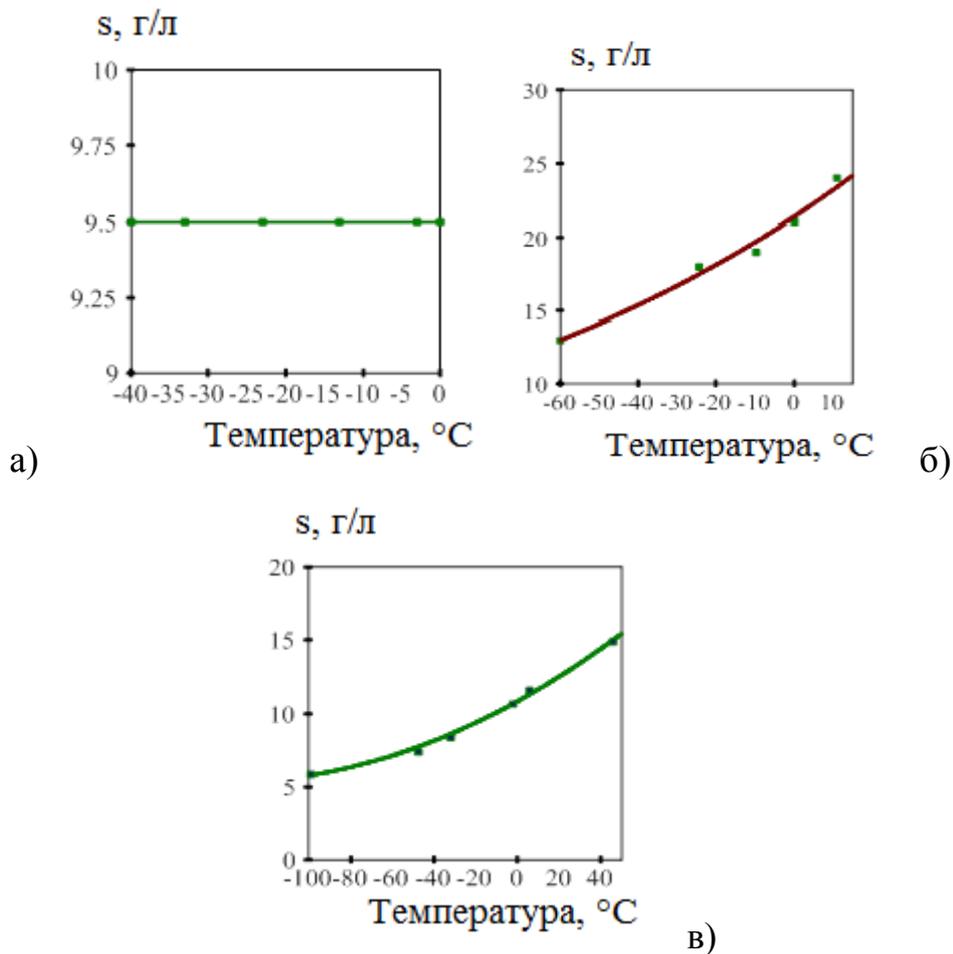


Рисунок 3 – Растворимость а) LiF в HF; б) NaF в HF; в) KF в HF

Достоинствами данного метода является безотходность, возможность регенерировать HF и вернуть его в процесс, низкая себестоимость переработки исходного сырья.

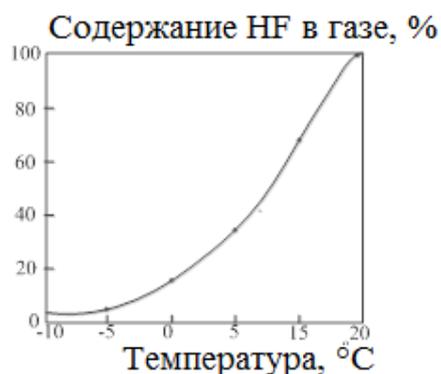


Рисунок 4 – Влияние температуры на равновесную концентрацию HF

Таблица 2 – Сравнение состава титанового порошка после отмывки

Элемент	Содержание после отмывки безводным HF, % масс.	Содержание после «кислотной» отмывки, % масс.	Содержание титана в марке ТГ-90 (ГОСТ 17746-96), % масс.
Ti	основа	основа	менее 99,74
Ni	$9 \cdot 10^{-4}$	$1,2 \cdot 10^{-4}$	0,04
Cu	$5 \cdot 10^{-4}$	$8 \cdot 10^{-4}$	Не регламентируется
K	$6 \cdot 10^{-4}$	$9 \cdot 10^{-4}$	
Li	$4,5 \cdot 10^{-4}$	$8,5 \cdot 10^{-4}$	
Na	$8 \cdot 10^{-5}$	$1,3 \cdot 10^{-4}$	
Mg	$8 \cdot 10^{-5}$	$2,6 \cdot 10^{-2}$	
Fe	$5,7 \cdot 10^{-3}$	$7,5 \cdot 10^{-3}$	
Nb	$2,9 \cdot 10^{-3}$	$6,2 \cdot 10^{-3}$	
W	менее $1 \cdot 10^{-2}$	менее $1 \cdot 10^{-2}$	
Zn	$7 \cdot 10^{-3}$	$8,5 \cdot 10^{-3}$	
Cr	$9 \cdot 10^{-4}$	$2,7 \cdot 10^{-3}$	
Mo	$6 \cdot 10^{-4}$	$8,7 \cdot 10^{-4}$	
Co	$8 \cdot 10^{-4}$	$1,8 \cdot 10^{-3}$	
Sn	$3 \cdot 10^{-4}$	$5 \cdot 10^{-4}$	
Mn	менее $1 \cdot 10^{-4}$	менее $1 \cdot 10^{-4}$	
Ca, Si	менее $5 \cdot 10^{-3}$	менее $5 \cdot 10^{-3}$	0,01
Al, Mg, Pb, Zr	$8 \cdot 10^{-4}$	$1,7 \cdot 10^{-3}$	Не регламентируется

Не смотря на то, что после «кислотной отмывки» получают более качественный продукт, с экономической точки зрения, для производства, метод отмывки катодного осадка безводным HF предпочтительнее.

В данной дипломной работе разрабатывается цех для отмывка катодного осадка безводным HF при температуре минус 20 °С.

1.2 Аппаратурное оформление процесса

Для того, что бы процесс отмывки осуществлялся интенсивно и в короткий промежуток времени, необходимо обеспечить интенсивное перемешивание титанового порошка и безводного HF.

Независимо от среды, смешивающейся с жидкостью, различают два основных способа перемешивания в жидких средах: механический и пневматический.

Пневматическое перемешивание осуществляют сжатым инертным газом или воздухом, при большой химической активности перемешиваемой жидкости. Аппараты для пневматического перемешивания отличаются простой конструкцией.

При перемешивании сжатым газом происходит большой расход энергии по сравнению с механическим перемешиванием. Перемешивание воздухом может сопровождаться окислением или осмолением веществ.

Механическое перемешивание производится мешалками, которым сообщается вращательное движение от электродвигателя напрямую, либо через редуктор.

Механическое перемешивание увеличивает поверхность соприкосновения двух фаз и создаёт, условия для лучшего взаимодействия одной фазы с другой [2].

Для перемешивания титанового порошка и безводного HF наиболее эффективным будет механическое перемешивание, так как оно интенсивнее пневматического, исключает взаимодействие конструкционных материалов и

продуктов с воздухом и сжатым газом, что предотвращает процессы окисления и осмоления веществ.

Механические перемешивающие устройства состоят из мешалки, вала и привода. Рабочей частью устройства служит мешалка. Она закрепляется на вертикальном, горизонтальном или наклонном валу. Привод осуществляется от электродвигателя, через редуктор или клиноременную передачу.

По устройству лопастей различают мешалки лопастные, пропеллерные, турбинные и специальные.

1.2.1 Лопастные мешалки

Лопастные мешалки (рисунок 5) это устройства, которые состоят из двух или более числа лопастей прямоугольного сечения, закреплённых на вращающемся валу.

Главными достоинствами таких мешалок является простая конструкция и низкая стоимость изготовления. Недостатком лопастных мешалок считается слабый осевой поток, который не обеспечивает полноценное перемешивание во всём объёме аппарата. Лопастные мешалки применяют для перемешивания жидкости, вязкостью не более $10^3 \text{ мн} \cdot \text{сек} / \text{м}^2$.

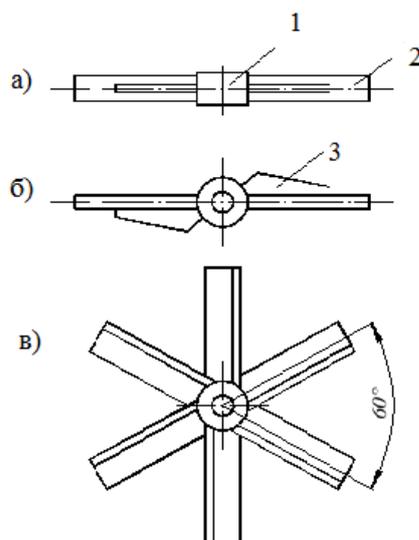


Рисунок 5 – Лопастные мешалки: а) двухлопастная; б) трёхлопастная; в) шестилопастная; 1 – втулка; 2 – лопасть; 3 – укрепляющие рёбра

Незначительное увеличение осевого потока жидкости может быть достигнуто при наклоне лопастей под углом 45 градусов к оси вала. Такая мешалка удерживает частицы, скорость осаждения которых невелика, во взвешенном состоянии. Такие мешалки широко применяются при проведении медленных химических реакций, для которых стадия, подвода реагентов в зону реакции, не является лимитирующей.

1.2.2 Пропеллерная мешалка

Рабочей частью пропеллерной мешалки (рисунок 6) служит пропеллер, состоящий из нескольких фасонных лопастей, изогнутых по профилю гребного винта. Самыми распространёнными являются трёхлопастные пропеллеры. Благодаря обтекаемой форме, пропеллерные мешалки потребляют меньшую мощность, чем мешалки других типов.

К достоинствам пропеллерных мешалок относится высокую скорость вращения и возможность присоединения мешалки к электродвигателю, что приводит к уменьшению механических потерь.

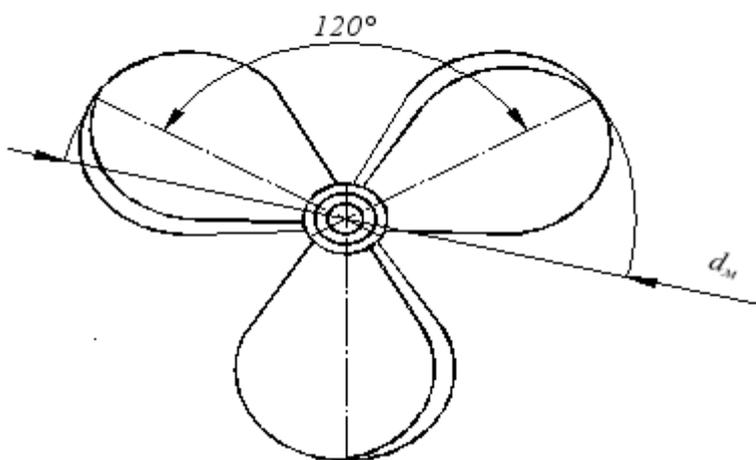


Рисунок 6 – Пропеллерная мешалка

Недостатком мешалки является сложная конструкция и высокая стоимость изготовления. Эффективность мешалки зависит от формы аппарата и расположения в нём мешалки. Пропеллерные мешалки применяют в цилиндрических аппаратах с выпуклым дном.

Пропеллерные мешалки используются для перемешивания жидкости вязкостью не более $2 \cdot 10^3$ мн·сек/м², для растворения, образования взвесей, быстрого перемешивания, проведения химических реакций в жидкой среде, образования маловязких эмульсий и гомогенизации больших объёмов жидкости [2].

1.2.3 Турбинные мешалки

Турбинные мешалки (рисунок 7) имеют форму колёс водяных турбин с плоскими, наклонными криволинейными лопатками, укреплёнными на вертикальном валу.

Турбинные мешалки используются для смесей с постоянной вязкостью, во время перемешивания, применяются для образования взвесей, растворения, при проведении химической реакции, абсорбции газов и интенсификации теплообмена. Для перемешивания в больших объёмах турбинные мешалки практически не применяются [3].

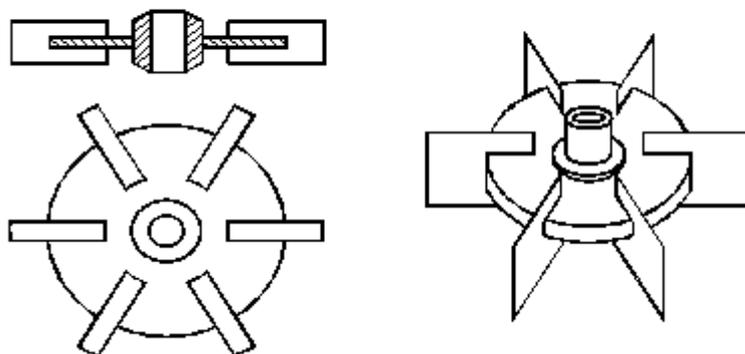


Рисунок 7 – Турбинная мешалка

Из представленных мешалок, для процесса отмывки предпочтительнее лопастная мешалка, так как она имеет более низкую стоимость, проста в изготовлении, в случае с растворением слабый осевой поток не является существенным недостатком.

Таким образом, процесс разделения титанового порошка от фторидной эвтектики будет осуществляться по методу отмывки катодного осадка безводным HF с последующей его регенерацией, при температуре минус 20 °С, в вертикальном аппарате с лопастной мешалкой.

2 Объект и методы исследования

2.1 Разработка и описание аппаратурно-технологической схемы

После процесса электролиза, получают катодный осадок в виде кусков 50 - 100 мм. Для осуществления отмывки катодного осадка от фторидной солей, осадок необходимо измельчить и подготовить к процессу отмывки. Технологическая схема процесса представлена на рисунке 8 .

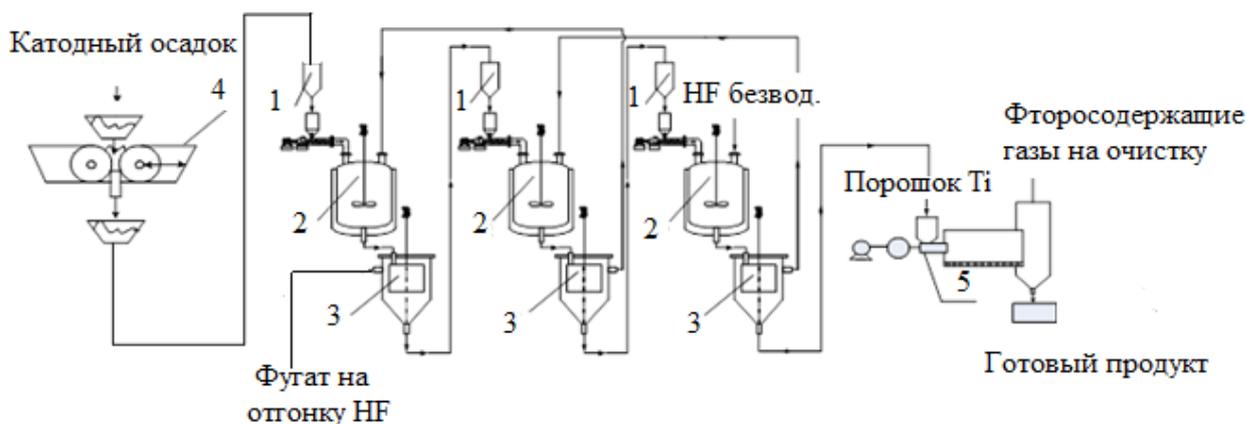


Рисунок 8 – Аппаратурно-технологическая схема измельчения и отмывки катодного осадка

Процесс измельчения осуществляется на валковой дробилке. После процесса измельчения получаем порошок, размеры частиц которого, составляют от 1 до 2 мм. В валковых мельницах, валки изготовлены из агата.

Измельченный катодный осадок поступает в узел подачи порошка 1, реактора - растворителя 2, в который подаётся безводный HF. Затем смесь подается на центрифугирование. Жидкий фугат 1-ой ступени отправляется на отгонку HF, а твердая смесь с титаном переходит во второй реактор-растворитель. Изначально HF подаётся на 3-ю ступень, после процесса центрифугирования безводный HF поступает во второй реактор-растворитель, а по окончании отмывки на второй ступени - подается на первую. После

процесса отмывки содержание фторидных солей в титановом порошке составляет менее 0,005 %. Для проведения процесса реакторы - растворители 2 и центрифуги 3 оборудованы охлаждающими рубашками. В качестве охлаждающего реагента используется водный раствор хлористого кальция (CaCl_2).

Для удаления из титанового порошка остаточного количества безводного HF, порошок титана сушат при температуре 90 °С в герметичной сушильной печи 5, в инертной среде (сухой аргон или азот). Безводный HF и частицы титана в виде пыли из сушильной печи улавливают раствором NaHCO_3 в насадочной колонне, футерованной фторопластом [1].

Достоинствами данной технологической схемы, является простота аппаратного оформления и возможность проведения процесса непрерывно.

3 Расчеты и аналитика

3.1 Материальный баланс цеха выделения металлического титана

Заданная производительность цеха составляет 50 тонн в год по титану.

Потери титана на всей стадии отмывки от катодного осадка, учитывая всевозможные факторы, составляет не более 1,15 %.

$$m_{\text{кон.}}(\text{Ti}) = 50 \text{ т} \quad \text{—} \quad 98,85 \text{ \%};$$

$$m_{\text{нач.}}(\text{Ti}) = X \text{ т} \quad \text{—} \quad 100 \text{ \%}.$$

Начальная масса титана, необходимая для годового производства, при данной производительности, с учётом потерь составляет:

$$m_{\text{нач}}(\text{Ti}) = \frac{50 \cdot 100}{98,85} = 50,58 \text{ тонн.} \quad (4)$$

Принимаем количество годового рабочего времени оборудования 360 суток. Найдём количество часов непрерывной работы аппаратуры в году:

$$\tau = 360 \cdot 24 = 8640 \text{ часов.} \quad (5)$$

Рассчитаем производительность по титану в час:

$$Q = \frac{50,58 \cdot 1000}{8640} = 5,85 \text{ кг/час.} \quad (6)$$

Принимаем, что катодный осадок состоит на 42,5 процентов из титана, 28,75% составляет из LiF; 27,03% - KF и 1,72% приходится на NaF [1]. Общая масса катодного осадка составляет 13,76 кг. Рассчитаем массу каждого компонента смеси.

$$G_{\text{LiF}} = m(\text{электролита}) \cdot 0,465 = 13,76 \cdot 0,2875 = 3,9 \text{ кг/ч;} \quad (7)$$

$$G_{\text{KF}} = 13,76 \cdot 0,2703 = 3,72 \text{ кг/ч;} \quad (8)$$

$$G_{\text{NaF}} = 13,76 \cdot 0,0172 = 0,29 \text{ кг/ч.} \quad (9)$$

Исходя из рисунка 3, можно сделать вывод, что растворимость фторида лития при температуре минус 20 градусов составляет 9,5 г/л; фторида натрия 17 г/л и фторида калия 10 г/л. Для полного растворения берём безводный HF с избытком, для этого принимаем, что растворимость фторида лития составляет

5 г/л; фторида натрия 13 г/л и фторида калия 7 г/л. Рассчитаем количество безводного HF, необходимого для растворения 6,38кг электролита.

Масса LiF составляет 3,9 кг, тогда:

$$5 \text{ г (LiF)} - 1\text{л(HF}_{6.В})$$

$$3900\text{г (LiF)} - x_1$$

$$x_1 = \frac{3900}{5} = 780 \text{ л.} \quad (10)$$

$$m = V \cdot \rho \quad (11)$$

$$m_{(\text{HF}_{6.В})} = \frac{780 \cdot 0,99 \cdot 10^{-3}}{10^{-3}} = 772,2 \text{ кг.} \quad (12)$$

Масса NaF составляет 0,29 кг, тогда;

$$13 \text{ г (NaF)} - 1\text{л (HF}_{6.В})$$

$$290\text{г (NaF)} - x_2$$

$$x_2 = \frac{290}{13} = 22,3\text{л,} \quad (13)$$

$$m_{(\text{HF}_{6.В})} = \frac{22,3 \cdot 0,99 \cdot 10^{-3}}{10^{-3}} = 22,07 \text{ кг.} \quad (14)$$

Масса KF составляет 3,72 кг, тогда;

$$7 \text{ г (NaF)} - 1\text{л (HF}_{6.В})$$

$$3720\text{г (NaF)} - x_3$$

$$x_3 = \frac{3720}{7} = 531,43 \text{ л,} \quad (15)$$

$$m_{(\text{HF}_{6.В})} = \frac{531,43 \cdot 0,99 \cdot 10^{-3}}{10^{-3}} = 526,12 \text{ кг} \quad (16)$$

Рассчитаем суммарное количество безводного HF, затраченного на растворение:

$$\Sigma G_{\text{HF}} = 722,2 + 526,12 + 22,07 = 1270,39 \text{ кг/ч.} \quad (17)$$

После отмывки, титановый порошок содержит 0,5% растворителя.

$$\Sigma G_{\text{HF}_{В} \text{ пор}} = 0,005 \cdot 5,85 = 0,029 \text{ кг/ч.} \quad (18)$$

После процесса отмывки получаем 5,85 кг Ti, который содержит 0,029 кг безводного HF. Для удаления из титанового порошка остаточного количества безводного HF, порошок титана необходимо подвергнуть сушке при температуре 90 °С в вакууме.

Для того, что бы обеспечить производительность цеха 50 тонн/год устанавливаем три каскада, каждый из которых состоит из трёх реакторов – растворителей и трёх центрифуг.

3.2 Материальный баланс узла растворения катодного осадка

Производительность аппарата по титану составляет 20 тонн/год.

Потери титана на стадии отмывки от катодного осадка, учитывая всевозможные факторы, составляет не более 1,15 %.

$$m_{\text{кон.}}(\text{Ti}) = 20\text{т} \quad \text{—} \quad 98,85 \%;$$

$$m_{\text{нач.}}(\text{Ti}) = X \text{ т} \quad \text{—} \quad 100 \%.$$

Начальная масса титана, необходимая для годового производства, при данной производительности, с учётом потерь составляет:

$$m_{\text{нач}}(\text{Ti}) = \frac{20 \cdot 100}{98,85} = 20,23 \text{ тонн.} \quad (19)$$

Масса титана поступающая в аппарат составляет 2,34 кг. Так как масса титана в катодном осадке составляет 42,5 % от общей массы осадка, тогда осадок имеет массу 5,50 кг.

Рассчитаем массу каждого компонента смеси.

$$G_{\text{LiF}} = m(\text{электролита}) \cdot 0,465 = 5,50 \cdot 0,2875 = 1,58 \text{ кг/ч,} \quad (20)$$

$$G_{\text{KF}} = 5,50 \cdot 0,2703 = 1,48 \text{ кг/ч,} \quad (21)$$

$$G_{\text{NaF}} = 5,50 - 2,34 - 1,58 - 1,48 = 0,1 \text{ кг/ч.} \quad (22)$$

Принимаем, что отмывка осуществляется в 3 ступени. Движение подаваемой смеси и растворителя происходит противотоком.

Рассчитаем количество безводного HF, необходимого для растворения 3,16 кг электролита.

Масса LiF составляет 1,58 кг, тогда:

5 г (LiF) – 1л(HF_{б.в})

1580г (LiF) – x₁

$$x_1 = \frac{1580}{5} = 316 \text{ л.} \quad (23)$$

$$m_{\text{(HF}_{б.в}\text{)}} = \frac{316 \cdot 0,99 \cdot 10^{-3}}{10^{-3}} = 312,84 \text{ кг.} \quad (24)$$

Масса NaF составляет 0,1 кг, тогда;

13 г (NaF) – 1л (HF_{б.в})

100г (NaF) – x₂

$$x_2 = \frac{100}{13} = 7,69 \text{ л} \quad (25)$$

$$m_{\text{(HF}_{б.в}\text{)}} = \frac{7,69 \cdot 0,99 \cdot 10^{-3}}{10^{-3}} = 7,61 \text{ кг.} \quad (26)$$

Масса KF составляет 1,48 кг, тогда;

7 г (NaF) – 1л (HF_{б.в})

1480г (NaF) – x₃

$$x_3 = \frac{1480}{7} = 211,43 \text{ л,} \quad (27)$$

$$m_{\text{(HF}_{б.в}\text{)}} = \frac{211,43 \cdot 0,99 \cdot 10^{-3}}{10^{-3}} = 209,3 \text{ кг.} \quad (28)$$

Рассчитаем суммарное количество безводного HF, затраченного на растворение:

$$\Sigma G_{\text{HF}} = 312,84 + 209,3 + 7,61 = 529,75 \text{ кг/ч.} \quad (29)$$

После отмывки, титановый порошок содержит 0,5% растворителя.

$$\Sigma G_{\text{HF}_{б.в} \text{ пор}} = 0,005 \cdot 2,34 = 0,0117 \text{ кг/ч.} \quad (30)$$

Суммарный материальный баланс всех ступеней отмывки равняется:

$$\Sigma G_{\text{приход}} = \Sigma G_{\text{расхода}} = G_{\text{титан}} + G_{\text{электролита}} + G_{\text{HF}} = G_{\text{порошок}} + G_{\text{HF}}^x = \quad (31)$$
$$2,35 + 3,16 + 529,75 = 2,55 + 0,0117 + 1,8 \cdot 10^{-5} + 529,801 + 3,0962 = 535,26 \text{ кг/ч.}$$

Результаты расчёта материального баланса стадии отмывки катодного осадка приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Материальный баланс процесса отмывки катодного осадка

Первая ступень отмывки			
Вещество	Приход кг/ч	Вещество	Расход кг/ч
Титановый порошок	2,35	Титановый порошок	2,35
Безводный HF	529,805	Фугат: HF	529,801
Электролит	3,16	Электролит - 2%	3,0968
		HF _{в пор}	$3,9 \cdot 10^{-3}$
		Электролит в Ti порошке	0,0632
Итого:	535,315		535,315
Вторая ступень отмывки			
Титановый порошок	2,35	Титановый порошок	2,35
Безводный HF	529,747	Фугат: HF	529,743
Электролит	0,0632	Электролит – 2%	0,0619
HF _{в пор}	$3,9 \cdot 10^{-3}$	HF _{в пор}	$7,8 \cdot 10^{-3}$
		Электролит в Ti порошке	$1,264 \cdot 10^{-3}$
Итого:	532,164		532,164
Третья ступень отмывки			
Титановый порошок	2,35	Титановый порошок	2,35
Безводный HF	529,75	Фугат: HF	529,746
Электролит	$9 \cdot 10^{-4}$	Электролит – 2%	$8,82 \cdot 10^{-4}$
HF _{в пор}	$7,8 \cdot 10^{-3}$	HF _{в пор}	0,0117
		Электролит в Ti порошке	$1,8 \cdot 10^{-5}$
Итого:	532,1087		532,1087

3.3 Материальный баланс процесса сушки

Материальный расчет процесса сушки сводится к составлению материального баланса и определению массовых расходов всех потоков. Уравнения материального баланса по влаге имеет вид:

$$G_{\text{пр}} \cdot w_{\text{HF}} = G_{\text{гп}} + W \quad (32)$$

где $G_{\text{пр}}$ – массовый расход высушиваемого материала, кг/с;

$G_{\text{гп}}$ – массовый расход высушенного материала, кг/с;

W – количество отводимой влаги, кг/с;

W_{HF} – количество влаги, содержащейся в высушиваемом материале, кг/с.

Под высушиваемым материалом принимается титановый порошок после процесса отмывки, под влагосодержанием понимается содержание безводного HF в высушиваемом материале.

На процесс сушки приходит 141,09 кг порошка в сутки. Принимаем, что процесс занимает 5 часов. Производительность сушильного шкафа составляет 28,218 кг/ч. Результаты расчёта приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Материальный баланс процесса сушки

Приход, кг/ч		Расход, кг/ч	
Высушиваемый материал	28,218	Высушенный материал	28,0788
в котором, сухого материала	28,0788		
Безводного HF в порах	0,1392		
		Количество отводимого HF	0,1392
Итого	28,218		28,218

Процесс сушки осуществляем в сушильном шкафу СМ 50/250 ШС250. Потребляемая мощность сушильного шкафа составляет 3 кВт, общая нагрузка полок 140 кг. Таким образом, разовая загрузка в сушильный шкаф составляет 100 кг.

3.4 Материальный баланс процесса центрифугирования

После каждой стадии отмывки на центрифугирование подаётся раствор безводного HF содержащий растворённый в нём электролит, а так же титановый порошок, содержащий незначительное количество растворителя и электролита. Так как движение растворителя и катодного осадка

осуществляется противотоком, фугат из третьей центрифуги направляется во второй реактор - растворитель, а фугат после первой центрифуги направляется на отгонку HF. В таблице 5 приведён материальный баланс процесса центрифугирования.

Таблица 5 – Материальный баланс процесса центрифугирования

Третья ступень			
Вещество	Приход кг/ч	Вещество	Расход кг/ч
Смесь после 3 ступени отмывке	532,1087	Порошок	2,361
		Фугат: HF	529,747
Итого:	532,1087		532,1087
Вторая ступень			
После 2 ступени отмывки	532,164	Порошок	2,359
		Фугат: HF	529,805
Итого:	532,164		532,164
Первая ступень			
После 1й ступени отмывки	535,315	Порошок	2,4171
		Фугат: HF	532,8979
Итого:	535,315		535,315

3.5 Тепловой расчет

3.5.1 Тепловой баланс процесса отмывки катодного осадка

Целью теплового расчёта является определение расхода CaCl_2 (рассола) необходимого для охлаждения реагентов и проведения процесса отмывки при температуре минус 20 °С. Для определения расхода рассола необходимо составить тепловой баланс (таблица 6).

Тепловой баланс технологического аппарата определяется по формуле:

$$Q_{\text{прих}} = Q_{\text{расх}}, \quad (33)$$

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

$Q_{\text{расх}}$ – расход тепла из аппарата, Дж [4].

Общая схема расчёта теплового баланса приведена в таблице 6.

Таблица 6 – Схема теплового баланса

Приход тепла	Расход тепла
Физическое тепло исходного LiF	Физическое тепло отработанного LiF
Физическое тепло исходного NaF	Физическое тепло отработанного NaF
Физическое тепло исходного KF	Физическое тепло отработанного KF
Физическое тепло исходного HF	Физическое тепло отработанного HF
Физическое тепло исходного Ti	Физическое тепло отработанного Ti
Потери в окружающую среду	Физическая теплота отбираемая CaCl ₂

Приход тепла

Тепло, вносимое с реакционной массой, рассчитывается по формуле:

$$Q_{\text{пр}} = C_p \cdot G \cdot t_{\text{н}}, \quad (34)$$

где C_p - теплоемкость, кДж/(кг К);

G - масса вещества, кг;

t - температура, К.

Принимаем, что температура поступающих реагентов 18 °С рассчитаем тепло приносимое реагентами по формуле 34:

$$Q_{LiF} = 1,58 \cdot 1,06 \cdot 292 = 492,391 \text{ кДж/ч},$$

$$Q_{NaF} = \frac{46,9 \cdot 294 \cdot 0,1}{42} = 32,83 \text{ кДж/ч},$$

$$Q_{KF} = \frac{49,32 \cdot 292 \cdot 1,48}{58} = 370,002 \text{ кДж/ч},$$

$$Q_{Ti} = \frac{25,1 \cdot 292 \cdot 2,35}{48} = 361,283 \text{ кДж/ч},$$

$$Q_{HF} = \frac{29,14 \cdot 292 \cdot 529,75}{20} = 226922,65 \frac{\text{кДж}}{\text{ч}},$$

$$\Sigma Q_{\text{прих}} = 361,283 + 370,002 + 32,83 + 492,391 + 226922,65 = 228179,156 \text{ кДж/ч}. \quad (35)$$

Расход тепла

Принимаем, что конечная температура составляет минус 20 °С, рассчитаем тепло, которое необходимо отвести от системы (формула 34):

$$\begin{aligned}
 Q_{LiF} &= 1,58 \cdot 1,06 \cdot 254 = 425,399 \text{ кДж/ч,} \\
 Q_{NaF} &= \frac{46,9 \cdot 254 \cdot 0,1}{42} = 28,363 \text{ кДж/ч,} \\
 Q_{KF} &= \frac{49,32 \cdot 254 \cdot 1,48}{58} = 319,661 \text{ кДж/ч,} \\
 Q_{Ti} &= \frac{25,1 \cdot 254 \cdot 2,35}{48} = 312,129 \text{ кДж/ч,} \\
 Q_{HF} &= \frac{29,14 \cdot 254 \cdot 529,75}{20} = 196048,82 \text{ кДж/ч,} \\
 \Sigma Q_{расх} &= 425,399 + 28,363 + 319,661 + 312,129 + 196048,82 = \\
 &197134,3725 \text{ кДж/ч.} \tag{37}
 \end{aligned}$$

Потери тепла за счет теплоотдачи со стенок и днища аппарата в окружающую среду принимаем 15 процентов от ΔQ .

$$Q_{т.п.} = 0,15 \cdot Q_{\Delta} = 0,15 \cdot 31044,783 = 4656,717 \text{ кДж/ч.} \tag{38}$$

Рассчитаем тепло отбираемое хладагентом:

$$\begin{aligned}
 Q_{хлад} &= Q_{прих} - Q_{расх} - Q_{т.п.} = 228179,156 - 197134,3725 - 4656,717 \\
 &= 26388,066 \text{ кДж/ч.} \tag{39}
 \end{aligned}$$

Таблица 7– Тепловой баланс процесса отмывки

Приход тепла	кДж/ч	Расход тепла	кДж/ч
$Q_{прих}$	228179,156	$Q_{расх}$	197134,3725
		$Q_{т.п.}$	4656,717
		$Q_{хлад}$	26388,066
Итого	228179,156		228179,156

Рассчитаем количество хладагента затраченного на охлаждение.

$$m = \frac{Q}{C_p \cdot t} = \frac{26388,066}{2,74 \cdot 244} = 39,47 \text{ кг} \tag{40}$$

Принимаем, количество хладагента равным 40 кг.

Результаты расчёта теплового баланса представлены в таблице 7.

3.5.2 Тепловой баланс процесса сушки титанового порошка

Начальная температура поступающего на сушку титанового порошка оставляет 15 °С. Поступает 28,218 кг порошка в час, 0,1392 кг составляет безводный HF. Примем теплоёмкость порошка равной 27,1 кДж/(кг·К).

Приход тепла

Тепло, вносимое с реакционной массой, рассчитывается по формуле:

$$Q_{\text{пр}} = C_p \cdot G \cdot t_n, \quad (41)$$

где C_p - теплоемкость, кДж/(кг К);

G - масса вещества, кг;

t - температура, К.

$$Q_{\text{пор}} = \frac{27,1 \cdot 289 \cdot 28,0788}{48} = 4581,46 \text{ кДж/ч,}$$

$$Q_{\text{HF}} = \frac{29,14 \cdot 289 \cdot 0,1392}{20} = 60,44 \text{ кДж/ч,}$$

$$\Sigma Q_{\text{прих}} = 4581,46 + 60,44 = 4641,9 \text{ кДж/ч.}$$

Расход тепла

Температура перехода безводного HF в газообразное состояние составляет 19,54 °С.

$$Q_{\text{HF}} = \frac{29,14 \cdot 293,54 \cdot 0,1392}{20} = 59,54 \text{ кДж/ч.}$$

Нагрев титанового порошка осуществляем до 80 °С. Рассчитаем тепло, которое необходимо подвести к системе по формуле 41.

$$Q_{\text{пор}} = \frac{27,1 \cdot 354 \cdot 28,0788}{48} = 5611,899 \text{ кДж/ч,}$$

$$\Sigma Q_{\text{расх}} = 5611,899 + 59,54 = 5671,439 \text{ кДж/ч.} \quad (42)$$

Результаты расчёта теплового баланса представлены в таблице 8.

Таблица 8 – Тепловой баланс процесса сушки

Приход тепла	кДж/ч	Расход тепла	кДж/ч
$Q_{прих}$	4641,9	$Q_{расх}$	5671,439
$Q_{нагр}$	1175,037	$Q_{т.п.}$	145,498
Итого	5816,937		5816,937

$$Q_{пот} = 0,15 \cdot \Delta Q = 0,15 \cdot 969,99 = 145,498 \text{ кДж/ч}, \quad (43)$$

$$Q_{нагр} = Q_{расх} - Q_{прих} + Q_{т.п.} = 5671,439 + 145,498 - 4641,9 = 1175,037 \text{ кДж/ч}. \quad (44)$$

3.6 Аппаратурный расчёт процесса отмывки катодного осадка

3.6.1 Расчёт габаритов реактора – растворителя

В аналитическом обзоре процесса отмывки титанового осадка от фторидной эвтектики, был выбран агитатор, состоящий из цилиндрической ёмкость с перемешивающим устройством, представляющий собой лопастную мешалку, закреплённую на валу.

Рассчитаем габариты аппарата для отмывки титана от электролита.

Принимаем, что стадия загрузки составляет 10 минут, охлаждение -10, стадия реагирования – 60 минут, выгрузка занимает 10 минут.

Суммарное время процесса: 90 минут.

Рабочий объём аппарата рассчитывается, как:

$$V_{раб} = \sum \frac{G_{исх}}{\rho_{исх}} \cdot r_{\Sigma} \quad (45)$$

где G_i – массовый расход реагентов, кг/ч;

ρ_i – плотность реагентов, кг/м³;

r_{Σ} – продолжительность процесса.

$$V_{раб} = \left(\frac{G_{Ti}}{\rho_{Ti}} + \frac{G_{LiF}}{\rho_{LiF}} + \frac{G_{KF}}{\rho_{KF}} + \frac{G_{NaF}}{\rho_{NaF}} + \frac{G_{HF}}{\rho_{HF}} \right) \cdot r_{\Sigma}, \quad (46)$$

Рассчитаем рабочий объём аппарата по формуле 46:

$$V_{\text{раб}} = \left(\frac{2,35}{4540} + \frac{1,58}{2640} + \frac{1,48}{2480} + \frac{0,1}{2560} + \frac{529,75}{990} \right) \cdot 1,5 = 0,536 \text{ м}^3.$$

Полный объем аппарата рассчитываем по формуле:

$$V_{\text{раб}} = \frac{V_{\text{раб}}}{\varphi - 0,15} = \frac{0,536}{0,75-0,1} = 0,82 \text{ м}^3, \quad (47)$$

где φ – коэффициент заполнения объема аппарата, $\varphi=0,75$.

Принимаем, что лопастная мешалка занимает 10% от объёма аппарата.

Согласно ГОСТ 24000-97 аппарат состоит из перемешивающего устройства типа 3 (рисунок 9). Параметры аппарата приведены в таблице 9 [5].

Диаметр лопастной мешалки определяется из соотношения:

$$d_{\text{м}} = (0,28 - 0,83) \cdot D = 0,7 \cdot 1000 = 700 \text{ мм}. \quad (48)$$

Высота лопасти мешалки рассчитывается по формуле:

$$b = 0,1 \cdot d_{\text{м}} = 0,1 \cdot 700 = 70 \text{ мм}. \quad (49)$$

Полная высота мешалки составляет:

$$h_{\text{м}} = (0,1 \div 0,3)d_{\text{м}} = 0,2 \cdot 700 = 140 \text{ мм}. \quad (50)$$

Таблица 9 – Параметры аппарата с мешалкой

Номинальный объём аппарата, м ³	D, мм	H, мм
1,00	1000	1440

Рассчитаем плотность смеси. Примем, что плотность твёрдой фазы составляет 2100 кг/м³, тогда:

$$\rho_{\text{с}} = \rho_{\text{ф}} \cdot \varphi + \rho_{\text{ж}} \cdot (1 - \varphi) = 0,01 \cdot 2100 + 990(1 - 0,01) = 1101,1 \text{ кг/м}^3, \quad (51)$$

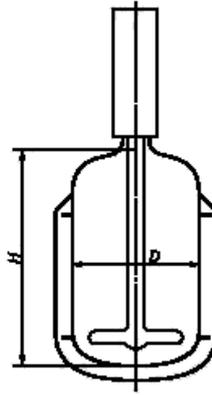


Рисунок 9 – Аппарат с перемешивающим устройством

$$\varphi = \frac{m_{\text{ТВ}}}{m_{\text{Ж}} + m_{\text{ТВ}}} = \frac{5,51}{529,75 + 5,51} = 0,01 \quad (52)$$

В таблице 10 приведены основные параметры лопастного механического перемешивающего устройства согласно МН 5874-66.

На рисунке 10 показана конструкция стального сварного перемешивающего устройства (тип 1), шифр 10 по МН 5874 – 66. В таблице 10 приведены параметры мешалки.

Таблица 10 – Параметры лопастного перемешивающего устройства

d _м , мм	Скорость вращения				Среда		Мощность кВт
	ω, рад/сек	n, об/мин	n, сек ⁻¹	ω, м/сек	μ _с , Мн·сек/м ²	ρ _с , кг/м ³	
700	6,6	63	1,05	2,3	3000	1300	0,16

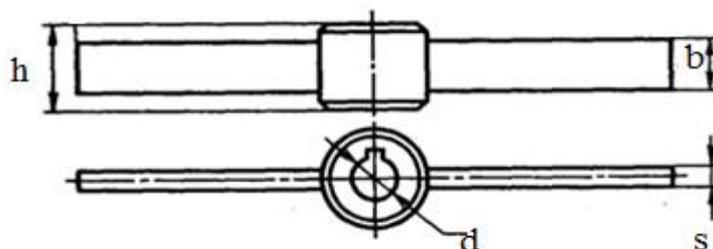


Рисунок 10 – Конструкция стального сварного перемешивающего устройства

Рассчитаем ступицу, состоящую из двух половин, для лопастного перемешивающего устройства (рисунок 11). Параметры ступицы приведены в таблице 12.

Таблица 11 – Стальное сварное перемешивающее устройство

d_m , мм	d , мм	b , мм	s , мм	Масса, кг	M_k , Н·м
700	45	70	8	6,3	84

Таблица 12 – Ступицы лопастного перемешивающего устройства

d , мм	d_c , мм	m , мм	A , мм	$b_{ш}$, мм	$d + t$, мм	d_6	d_m , мм
45	90	18	64	14	49,9	M12	≤ 1000

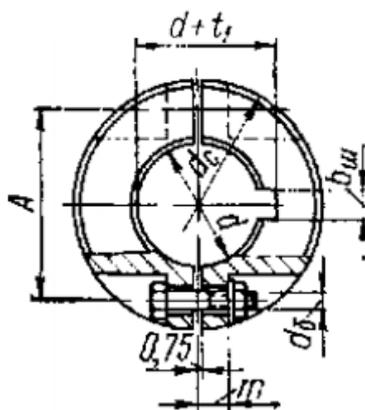


Рисунок 11 – Ступицы лопастного перемешивающего устройства

Мешалка выполнена из углеродистой стали. Для процесса отмывки используем перемешивающее устройство 10.1.700 МН 5874 – 66 [5].

Рассчитаем привод механического перемешивающего устройства. Приводы для аппаратов ёмкостью от 1 до 50 м³ изготавливают из углеродистой, легированной и двухслойной стали. Ёмкость рассчитываемого аппарата составляет 1 м³, соответственно, используется вертикальный привод, выполненный из углеродистой стали футерованный фторопластом, тип I по МН

5855-66, с концевой опорой, мотор – редуктор типа МПО2 и электродвигателем серии АО2 , мощность 2,2 кВт (рисунок 12), скорость вращения 6,6 рад/сек [3].

Конструкция и размеры опоры привода приведены в таблице 14 и на рисунке 13 [5].

Таблица 13 – Привод вертикальный с концевой опорой вала

Типоразмер мотор - редукторора	d,мм	H, мм	H ₁ , мм	l не менее, мм	l не более, мм	Масса, кг	p, н
10	40	1000	565	40	2000	180	4900



Рисунок 12 – Вертикальный привод с концевой опорой вала:

1 - мотор - редуктор; 2 - стойка; 3 - муфта; 4 - уплотнение; 5 - опора вала концевая; 6 - вал перемешивающего устройства

Для обеспечения герметичности аппарата и исключения проникновения рабочей среды за пределы корпуса оборудования используем сальниковое уплотнение по МН 5868-66, параметры которого указаны в таблице 15 и на рисунке 14.

Таблица 14 – Опорная часть привода перемешивающего устройства

d	D_{ϕ}	D_{δ}	D	d_1	h
мм					
40	330	300	185	14	20

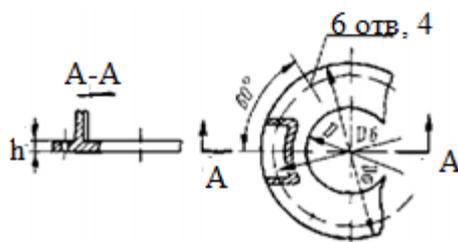


Рисунок 13 – Конструкция опорной части вертикального привода

Таблица 15 – Уплотнение сальниковое для вертикальных валов перемешивающего устройства

d	d_1	D_{ϕ}	D_{δ}	D	H	h	h_1	d_{δ}	z	Масса, кг
мм										
40	60	185	150	128	166	18	13	20	4	7,03

Исполнение 1 Исполнение 2

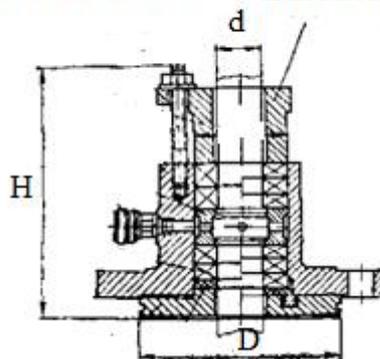


Рисунок 14 – Конструкция сальникового уплотнения

3.6.2 Механический расчет

Аппарат выполнен полипропилена А20, рассчитаем необходимую толщину стенки.

$E = 1860 \text{ Мн/м}^2$; $\sigma_T = 25 \text{ Мн/м}^2$; $\rho_{\text{ж}} = 1215 \text{ кг/м}^3$; $p_c = 0,1 \text{ Мн/м}^2$; $t = -20^\circ\text{C}$;
 $D_B = 1000 \text{ мм}$; $H = 1440 \text{ мм}$ [6].

Принимаем, что наружное давление в обечайке равным $0,3 \text{ Мн/м}^2$.
Найдём номинальную расчётную толщину стенки обечайки.

$$s' = 1,18 \cdot D_B \left(\frac{p_H \cdot H}{E t \cdot D_B} \right) = 1,18 \cdot 1 \cdot \left(\frac{0,3 \cdot 1,44}{1860 \cdot 1} \right)^{0,4} = 0,026 \text{ м} = 26 \text{ мм.} \quad (53)$$

Выбираем прибавку на округление толщины стенки $C_0 = 4 \text{ мм}$.

Суммарную прибавку к номинальной расчётной толщине стенки при $C_0 = 0$ определим по формуле:

$$C = C_k + C_э + C_0 = 0 + 0 + 4 = 4 \text{ мм.} \quad (54)$$

Толщину стенки обечайки с учётом прибавок определяем по формуле:

$$s = 26 + 4 = 30 \text{ мм.} \quad (55)$$

Проверяем условие:

$$1,5 \sqrt{\frac{2(s - C_k)}{D_B}} \leq \frac{H}{D_B} \leq \sqrt{\frac{D_B}{2(s - C_k)}} \quad (56)$$

$$1,5 \sqrt{\frac{2 \cdot 26}{1000}} = 0,34 < \frac{1,14}{1} = 1,14 < \sqrt{\frac{1000}{2 \cdot 26}} = 4,38$$

Проверяем условие:

$$\frac{H}{D_B} = 1,14 \geq 0,3 \frac{E}{\sigma_T} \sqrt{\left[\frac{2(s - C_k)}{D_B} \right]^3} = 0,3 \cdot \frac{1860}{11,8} \sqrt{\left[\frac{2 \cdot 26}{1000} \right]^3} = 0,56 \quad (57)$$

Определим осевую сжимающую силу, действующую на обечайку снизу вверх от давления среды в рубашке.

Расчётное наружное давление в нижней части рубашки определяем как:

$$p_H = p_{\text{нс}} + g \rho_{\text{ж}} H_{\text{ж}} \cdot 10^{-6} = 0,1 + 9,8 \cdot 1860 \cdot 1,14 \cdot 10^{-6} = 0,12 \text{ Мн/м}^2. \quad (58)$$

Определим расчётную осевую сжимающую силу:

$$P = \frac{(D_B + 2s)^2}{4} p_H = \frac{(1 + 2 \cdot 0,026)^2}{4} 0,12 = 0,03 \text{ Мн}, \quad (59)$$

$$\frac{D_B}{2(s - C_k)} = \frac{1000}{2 \cdot 26} = 19,23 < 250. \quad (60)$$

Принимаем $k_c = 0,001$. Определим величину K_c :

$$K_c = 875 \frac{\sigma_T}{E} k_c = 875 \frac{25}{1860} 0,001 = 0,011. \quad (61)$$

Проверим устойчивость обечайки:

$$s - C_k = 0,026 \text{ м} > \sqrt{\frac{P}{\pi K_c E}} = \sqrt{\frac{0,03}{3,14 \cdot 0,011 \cdot 1860}} = 0,021 \text{ м}. \quad (62)$$

Условие соблюдено, обечайка устойчива.

Определим осевое напряжение сжатия в обечайке:

$$\sigma_c = \frac{P}{\pi(D_B + s)(s - C_k)} = \frac{0,03}{3,14 \cdot 1,03 \cdot 0,026} = 0,36 \text{ Мн/м}^2. \quad (63)$$

Так как процесс проходит при температуре минус 20 °С, а реагенты подводятся комнатной температуры необходимо обеспечить отвод тепла и охлаждение системы. Устанавливаем охлаждающую неразъёмную рубашку из полипропилена А20 (по ОН 26-01-73-68), параметры рубашки приведены в таблице 16 [5].

Таблица 16 – Параметры рубашки неразъёмной из полипропилена А20

D_B	D_p	D	H	h	h_1	a	s	s_1	$F, \text{ м}^2$
мм									
1000	1100	160	1280	50	140	30	20	22	2,5

Для расчёта опор необходимо рассчитать массу установки. Для расчёта массы необходимо найти объём стенок установки.

Рассчитаем объём цилиндрической обечайки фильтра:

$$V_1 = \pi h r_{\text{внеш}}^2 = 3,14 \cdot 1,03^2 \cdot 1,44 = 4,79 \text{ м}^3, \quad (64)$$

$$V_2 = \pi h r_{\text{внутр}}^2 = 3,14 \cdot 1^2 \cdot 1,44 = 4,52 \text{ м}^3, \quad (65)$$

$$V_{\text{стен}} = 4,79 - 4,52 = 0,27 \text{ м}^3, \quad (66)$$

$$m_{\text{ц.о}} = V_{\text{ст}} \cdot \rho = 0,27 \cdot 1050 = 283,5 \text{ кг}. \quad (67)$$

Рассчитаем объём сферической обечайки фильтра:

$$V_{\text{сф1}} = \frac{3}{4} \pi r_{\text{внеш}}^3 = \frac{3}{4} \cdot 3,14 \cdot 1,03^3 = 2,57 \text{ м}^3, \quad (68)$$

$$V_{\text{сф1}} = \frac{3}{4} \pi r_{\text{внутр}}^3 = \frac{3}{4} \cdot 3,14 \cdot 1^3 = 2,35 \text{ м}^3, \quad (69)$$

$$V_{\text{сф}} = 2,57 - 2,35 = 0,22 \text{ м}^3, \quad (70)$$

$$m_{\text{сф.о}} = V_{\text{ст}} \cdot \rho = 0,22 \cdot 1050 = 231 \text{ кг}. \quad (71)$$

Рассчитаем объём и массу охлаждающей рубашки:

$$V_1 = \pi h r_{\text{внеш}}^2 = 3,14 \cdot 1,12^2 \cdot 1,28 = 5,04 \text{ м}^3, \quad (72)$$

$$V_2 = \pi h r_{\text{внутр}}^2 = 3,14 \cdot 1,1^2 \cdot 1,28 = 4,86 \text{ м}^3, \quad (73)$$

$$V_{\text{стен}} = 5,04 - 4,86 = 0,18 \text{ м}^3, \quad (74)$$

$$m_{\text{ц.о}} = V_{\text{ст}} \cdot \rho = 0,18 \cdot 1050 = 189 \text{ кг}, \quad (75)$$

$$m_p = m_{\text{ц.о}} + m_{\text{рассола}} = 189 + 40 = 229 \text{ кг}. \quad (76)$$

С учётом внутренних деталей и реагентов масса аппарата будет равна:

$$G_{\text{ус}} = 229 + 231 + 283,5 + 535,315 = 1278,8 \text{ кг}. \quad (77)$$

Установка имеет 4 опоры, общая нагрузка на которые составляет 1278,8 или 0,013Мн.

В аппарате используются опоры из полипропилена А20 типа II. Такие опоры применяются для вертикальных аппаратов с теплоизоляцией.

Таблица 17 – Опоры для вертикальных аппаратов тип II

B ₁	H	a	d	s
106	210	12	17	18

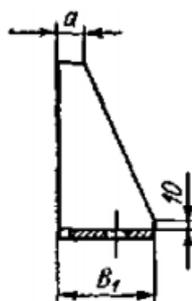


Рисунок 15 – Конструкция опоры для вертикальных аппаратов из полипропилена А20

Подбираем опору, из ряда стандартных изделий, по приведённой нагрузке Q менее 0,013 Мн, согласно ОН – 01 – 29 - 66. В таблице 17 приведены основные параметры опор, конструкция опор приведена на рисунке 15.

3.6.3 Гидравлический расчёт

Гидравлический расчёт процесса направлен на определение наиболее оптимального размера трубопроводов, посредством которых растворы поступают в аппарат и выводятся из него, по завершении процесса. Заданный диаметр, как правило, должен обеспечить необходимую скорость подачи растворов в аппарат, что является важнейшей операцией, и при ошибочном подборе может привести к большим экономическим потерям, по причине неправильного протекания процесса.

Плотность безводного HF составляет 990 кг/м^3 ; катодный осадок имеет плотность 2100 кг/м^3 ; плотность жидкой фазы после процесса растворения $1001,1 \text{ кг/м}^3$; плотность рассола 1290 кг/м^3 .

Скорость движения среды в трубопроводах принимаем для рассола – 0,7 м/с; для безводного HF и смеси 2 м/с, для титанового порошка скорость подачи 0,5 м/с х [7].

Диаметр трубопровода рассчитывается по формуле:

$$d = \sqrt{\frac{4G}{\pi\omega\rho}} \quad (78)$$

Рассчитаем диаметр трубопровода для каждой жидкости:

$$d_{\text{рассол}} = \sqrt{\frac{4G}{\pi\omega\rho}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,06}{3,14 \cdot 0,7 \cdot 990}} = 10,5 \text{ мм},$$

$$d_{\text{смеси}} = \sqrt{\frac{4G}{\pi\omega\rho}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,9}{3,14 \cdot 2 \cdot 1014,6}} = 23,76 \text{ мм},$$

$$d_{\text{порошок}} = \sqrt{\frac{4G}{\pi\omega\rho}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 9,1 \cdot 10^{-3}}{3,14 \cdot 0,5 \cdot 3450}} = 2,6 \text{ мм}.$$

Таблица 18 – Основные размеры стандартных патрубков

Вещество	D _y	d _н	D	s	H	L
	мм					
Катодный порошок	25	32	60	4	90	101
Рассол	50	55	90	7	120	133
HF _{б.в}	100	110	150	7	125	141

Таблица 19 – Фланцы для трубопровода из полипропилена

D _y	D _ф	D _б	D ₀	h	d	c	Болты	
мм							d _б	z
25	60	75	38	15	12	3	M10	4
50	90	110	70	17	14	3	M12	4
150	210	170	123	20	18	4	M16	8

Из стандартного ряда, выбираем диаметр патрубков для подачи безводного HF, рассола, катодного порошка. Выбор патрубков большего диаметра, приведёт к перерасходу материала, но позволит спроектировать визуально пропорциональный аппарат. Основные размеры патрубков приведены в таблице 18.

3.6.4 Расчёт вспомогательных аппаратов и ёмкостей

К аппаратам вспомогательных процессов данной технологической схемы можно отнести: центрифуги для отделения жидкой и твёрдой фазы после процесса отмывки, печь для сушки титанового порошка, валковая дробилка для измельчения катодного осадка после процесса электролиза, баки для катодного осадка, титанового порошка. Ориентировочным параметром для определения ёмкости аппаратов примем объёмы растворов.

1 Центрифуга для отделения титанового порошка и фугата. Принимаем вертикальную центрифугу типа Н - 250 с пакетом сепарирующих тарелок. Основные характеристики: номинальная производительность – 0,75 м³/ч; общая высота – 2770 мм; длина – 1400мм; ширина – 1000мм; потребляемая мощность – 3кВт; материал – сталь с Х18Н10Т.

2 Печь для сушки титанового порошка. Сушку титанового порошка проводим в сушильном шкафу СМ 50/250 ШС250. Основные характеристики: общая высота – 1140 мм; длина – 920мм; ширина – 830мм; потребляемая мощность 3 кВт; общая нагрузка полок 140 кг; цена – 96231руб.

3 Валковая дробилка для измельчения катодного осадка. Измельчение катодного осадка производим в валковой дробилке ДГМ -4,6/3,2. Дробилка предназначена для измельчения титановой губки в инертной атмосфере. Характеристики: общая высота - 1692 мм; общая длина - 3960 мм; ширина - 2854 мм; потребляемая мощность 2 кВт.

4 Бункер – накопитель для титанового порошка, катодного осадка общей ёмкостью равной $0,5 \text{ м}^3$. Высота – 1290мм, ширина - 900мм, длина 880 .
Материал - сталь марки Ст3.

3.6.5 Энергетический расчёт процесса отмывки

Энергетический расчёт необходим для расчёта потребляемой энергии аппаратурой, входящей в технологическую цепочку. В данном случае необходимо знать значения потребляемых мощностей агитатора, центрифуги, сушильной печи, валковой дробилки.

Потребляемая мощность электродвигателя лопастной мешалки серии АО2 составляет 2,2 кВт; валковая дробилка потребляет 2 кВт; сушильный шкаф- 3 кВт; центрифуга – 3 кВт.

Для отвода смеси из реакторов растворителей и подачи безводного HF после процесса центрифугирования используется моноблочный химический насос 32ЛМ – 6,3/20-5 мощностью двигателя 1,1 кВт.

Подача сыпучего материала в реактор осуществляется транспортёром серии СТ с гибкой спиралью. Мощность электродвигателя составляет 0,55кВт.

Суммарная потребляемая мощность составляет:

$$\Sigma N = 2,2 \cdot 9 + 2 + 3 + 3 \cdot 9 + 1,1 \cdot 15 + 10 \cdot 0,55 = 73,8 \text{ кВт.} \quad (79)$$

4 Результаты проведенного исследования

4.1 Разработки

В качестве проектируемого аппарата был выбран реактор – растворитель с лопастной мешалкой.

В результате расчетов реактора диаметр аппарата вместе с охлаждающей рубашкой составил - 1120 см, метра, высота аппарата - 3 метра.

Аппарат высокопроизводителен, прост в конструкции, монтаже эксплуатации и автоматизации.

4.2 Строительная часть

В основу архитектурно - строительных решений положены принципы рационального размещения технологического оборудования с соблюдением поточности технологического процесса, удобства при эксплуатации, унификации конструктивных строительных элементов и их сборность [8].

Цех по отмывке катодного осадка размещается в здании “каркасного” типа, т.е. несущая часть здания - железобетонные колонны с железобетонными фермами, стены - железобетонные стеновые панели. Габаритные размеры аппаратов, приведены в таблице 20.

Таблица 20 – Габаритные размеры оборудования

Наименование	Количество	Размеры, мм
Реактор - растворитель	9	D=1140, H=3000
Центрифуга	9	H = 2700 L=1400 B=1000
Печь	1	H = 1140 L=920 B=830
Валковая дробилка	1	H = 1692 L=3960 B=2854
Бункер - накопитель	2	H = 1290 L=850 B=900

С учетом единых правил безопасности минимальное расстояние между смежными габаритами машин и аппаратов, и от стен до габаритов оборудования должны составлять:

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

Проектируем одноэтажное здание высотой 8400 мм. С учетом производственных помещений, длина проектируемого цеха будет составлять 36000 мм, а ширина - 12000 мм.

Для обслуживания отделения осаждения подводятся лестничные площадки с ограждениями. Лестница установлена под уклоном 45°, ступеньки изготавливают из рифленой стали (полосовой) шириной 150 - 250 мм, при толщине 2 - 6 мм, привариваемой к балке ограждения.

4.2.1 Основание

В качестве основания цеха используется грунт. Грунт должен быть однородным и обладать достаточной несущей способностью. Несущая способность грунта характеризуется его расчетным сопротивлением. Расчетное сопротивление принимают исходя из безопасных для здания многолетних осадок величин, для того, чтобы учесть осадку грунта под действие нагрузки.

Расчетное сопротивление от напластования грунта в пределах сжимаемых толщин определяется по результатам бурения скважин при изыскании на площади грунта, используемого в качестве основания. Это называется естественным основанием.

Изначально снимается растительный слой, производится засыпка ям и неровностей, далее производят уплотнение грунта катками, трамбовочными машинами и т.д. Основание под бетон уплотняют щебнем или гравием, толщина насыпного слоя составляет 5 – 8 см.

Основными видами искусственных оснований зданий являются: песчаные подушки – заменяют природный грунт под фундаментом; свайное основание – сваи-стойки, опирающиеся концами на плотный грунт.

4.2.2 Фундамент

Так как грунт промерзает по внешнему периметру, глубина заложения фундамента внутренних стен и колон производственных цехов производится без учёта глубины промерзания.

Фундаменты под несущие стены располагаются по всему их периметру и называются ленточными. Глубина закладки фундамента под несущие стены 1,5 м. На такую же глубину заложен фундамент стаканного типа под железобетонные балки и колонны.

Здание цеха по отмывке катодного порошка каркасного типа из сборного железобетона. Фундамент сборных железобетонных колонн выполняется в виде армированного понизу ступенчатого массива. После установки колонны, оставшийся объем заливают бетоном.

Фундамент колонны делают с тщательно выравненной поверхностью, из которой выступают анкерные болты, закладываемые при бетонировании. Колонну устанавливают башмаком на фундамент и крепят гайками. Стены выполнены из керамзито-бетонных панелей, которые привариваются к закладным деталям.

4.2.3 Колонны

В здании предусмотрен мостовой кран с грузоподъемностью до 5 тонн. Колонны изготавливают из бетона марок 300, 400 без предварительного напряжения, так как колонны работают на сжатие. Перед бетонированием колонн в них закладывают стальные детали в виде пластин, которые служат для крепления к колоннам других элементов каркаса и стен.

Нижний конец сборной железобетонной колонны имеет прямоугольное сечение и прямой торец без специальных деталей для ее крепления (к колоннам других элементов каркасов и стен) к фундаменту.

Для постройки здания выбираем колонну сплошного прямоугольного сечения серии 1.424.1-5 с шагом 6000 мм, имеющую следующие размеры: полная высота колонны - 9300 мм, высота до подкранового рельса - 6400 мм, расстояние под фундамент - 600 мм.

4.2.4 Пути мостовых кранов

Путь мостового крана монтируется на железобетонную монолитную крановую балку, которая выполняется в процессе возведения наружных стен. Подкрановые балки имеют тавровое сечение. В верхней полке имеются отверстия для крепления кранового пути, а в ребре для крепления токопроводящих троллей. Балки изготавливают из бетона марок 300 - 500.

Крановый путь - рельс, укрепленный на подкрановой балке. Рельсы для кранового пути выполнены из стали. По концам зоны действия кран балки на её путях устанавливают упоры, которые не позволяют выйти крану из зоны действия.

4.2.5 Наружные стены цеха

В зависимости от характера работы стены под действием нагрузок различают три конструктивные схемы стен.

- Несущая стена, испытывает действие собственного веса и несет нагрузки от покрытия, крана и т. д.
- Самонесущая стена, испытывает действие собственного веса, но не несет нагрузок от покрытия, крана и т. д., нагрузка передается на колонну. Этот вид стен является весьма распространенным в современных промышленных зданиях.

– Ненесущая (навесная) стена, не несет никаких нагрузок и передает собственный вес фундаментам через колонны. Эта конструкция применяется при малой прочности стенового материала.

Наружные стены представляют собой самонесущие стены, которые испытывают действие собственного веса, но не несут нагрузок от покрытия, крана и так далее. Стены монтируются из панелей, которые крепятся к каркасу. Длина панелей 6 м ширина 3 м. Материал панелей – пенобетон D 1200. Пенобетон представляет собой пластиковый каркас, к которому крепятся стекломагнетитовые листы, внутренняя плотность заполнена пенобетоном [9].

4.2.6 Покрытия

Покрытие состоит из двух основных частей: несущей и ограждающей. Несущие конструкции в виде стальных балок поддерживают ограждающие элементы покрытия и передают нагрузки на колонны каркаса. Ограждающие элементы включают в себя настил, утеплитель и кровлю.

Настил, образует сплошную поверхность покрытия, чаще всего выполняют из крупнопанельных железобетонных плит, которые опираются на несущие конструкции. Утеплитель укладывается поверх настила. В качестве утеплителя применяется неорганический пенобетон.

Кровля – водоизоляционный слой, препятствует проникновению атмосферных вод в толщу покрытия и внутрь здания.

При рулонной кровле поверх утеплителя для наклейки кровли необходим выравнивающий слой.

В качестве настила используем ребристые крупнопанельные плиты 6х3 м. В качестве утеплителей применяют керамзит с $\gamma = 300 \div 100$ кг/м³. Эти утеплители выполняются в виде плит небольшого размера. Кровля выполняется из рубероида. Это самая распространенная кровля, укладывается из 2–5 слоев рубероида, проклеиваемых битумной мастикой. Основанием рубероидной кровли служит выравнивающий слой – асфальт, толщиной 10 – 20 мм.

4.2.7 Полы

Полы в промышленном здании наиболее сильно испытывают на себе влияние технологического процесса. В зависимости от технологических требований полы различают стойкие к механическим воздействиям, воздействию воды, к высоким температурам. По санитарно-гигиеническим требованиям полы должны быть бесшумными, мало теплопроводными, не должны пылить и должны легко очищаться. В цехе пол выполняется с бетонным покрытием (монолитный слой бетона с мелким гравием толщиной 20÷30 мм). В бытовых и вспомогательных помещениях полы линолеумные (в сухих), в мокрых (душевые и др.) - выкладывается керамической плиткой.

4.2.8 Окна. Двери. Ворота

Освещение естественным светом вспомогательных помещений осуществляется через оконные проемы. Размещение и форма окон приняты согласно нормам освещения.

Освещение решено в виде отдельных оконных проемов размером 3×3 м под типовые деревянные оконные переплеты с двойным остеклением.

Технологическая часть здания не подлежит естественному освещению и освещается искусственно.

В технологической части здания устанавливаются железные двойные герметично закрывающиеся двери размером 1,5×2,1, и 2×2,1 м.

Двери вспомогательных помещений приняты типовые, состоящие из деревянной коробки и деревянного полотна размером 1,5×2,1 м.

В технологической части здания предусмотрено наличие двух двойных ворот для въезда и выезда автопогрузчика в цех. Ворота имеют размеры 4×4,2, 3×3,6 м. Ворота распашные, сделаны из тонкой стали.

Во избежание переохлаждения помещений при длительном открывании ворот в зимнее время, проемы ворот оборудуются тепловыми завесами [10].

План размещения оборудования и строительный чертеж цеха представлен в графическом материале проекта.

4.2.9 Водоснабжение

На промышленных предприятиях принимают три вида водопроводов: производственных, хозяйственно - питьевой и противопожарный.

Производственный водопровод служит для подачи воды используемой для приготовления исходных реагентов. Качество воды для производственных надобностей определяется соответствующими технологическими требованиями.

Хозяйственно-питьевая вода подается к умывальникам, душам, питьевым фонтанчикам, которая используется для уборки помещений, поливки дорог и земельных насаждений. Для обеспечения хозяйственно - бытовых нужд предусмотрен горячий водопровод ($t \geq 60^{\circ}\text{C}$).

В бытовых помещениях предусмотрен пожарный водопровод. К воде, используемой для пожаротушения не предъявляется ни каких требований и, поэтому пожарный водопровод объединяется с хозяйственным [11].

4.2.10 Канализация

Различают два вида канализаций - бытовая и производственная.

Внутренние сети бытовой канализации выполняют из чугунных труб, сети производственной канализации из керамических труб.

По канализационной сети вода поступает на очистку. Для первичной очистки сточных вод бытовой канализации служат:

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

Затем сточные воды поступают на биологическую очистку.

Очистка производственных сточных вод осуществляется по следующей схеме:

- механическая очистка (фильтрование, отстаивание, флотация);
- физико-химическая очистка (экстракция, кристаллизация);
- химическая очистка (коагуляция, нейтрализация).

4.2.11 Отопление

Система воздушного отопления совмещена с вентиляцией. При воздушном отоплении в помещение поступает горячий воздух с более высокой температурой, чем в отапливаемом помещении. Условия работы воздушного отопления выражаются формулой:

$$Q_p = gc(t_2 - t_B), \quad (80)$$

где Q_p - расчетные теплотопотери;

g - количество подаваемого тепла, ккал/ч;

t_2 - температура горячего воздуха, °С;

t_B - температура воздуха внутри помещения, °С;

c - весовая теплопроводность воздуха в помещении $c=0,24$ ккал/кг·°С.

Вентиляция является приточно - вытяжной, потери будут происходить с вытягиваемым воздухом:

$$Q_{\text{пот}} = p \cdot V \cdot c \cdot t_B, \quad (81)$$

где p - удельный вес воздуха, кг/м³;

V - расход воздуха, м³/ч;

c - теплопроводность воздуха, ккал/кг·°С;

t_B - температура воздуха, равная 20 °С.

Подставим данные в формулу:

$$Q_{\text{пот}} = 1,29 \cdot 15000 \cdot 0,24 \cdot 20 = 92880 \text{ ккал/ч}; \quad (82)$$

Расчетные теплотопотери определим как:

$$Q_p = Q_{\text{пот}} \cdot 1,01 = 93808,8 \text{ ккал/ч}; \quad (83)$$

Происходят потери тепла в окружающую среду через ограждения, количество тепла, которое необходимо сообщить воздуху, равно:

$$g = Q_p - Q_{\text{пот}} = 928,8 \text{ ккал/ч}; \quad (84)$$

Найдём необходимую температуру горячего воздуха из формулы:

$$t_2 = \frac{Q_p}{g \cdot c} + t_B = 44 \text{ }^\circ\text{C}. \quad (85)$$

Для подогрева воздуха в стальных теплообменниках пластинчатого типа (калориферах) используют пар.

5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Целью экономического расчета является определение себестоимости продукции, обоснование финансово-экономической целесообразности проекта и выявление условий, при достижении которых создание предприятия является экономически оправданным [12].

5.1 Организация труда

5.1.1 Определение баланса времени одного рабочего

Баланс времени одного рабочего устанавливает число дней, подлежащих отработке одним среднесуточным рабочим в год, в зависимости от принятого режима работы цеха, продолжительности работы цеха и продолжительности рабочего дня. Цех будет работать в 3 смены продолжительностью по 8 часов. Работа будет производиться четырьмя производственными бригадами. График сменности рабочих бригад приведен в таблице 20.

Таблица 20 – График сменности бригад

Смены	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1 смена 0-8 ч	A	A	A	A	B	B	B	B	C	C	C	C	D	D	D	D
2 смена 8-16 ч	C	D	D	D	D	A	A	A	A	B	B	B	B	C	C	C
3 смена 16-24 ч	B	B	C	C	C	C	D	D	D	D	A	A	A	A	B	B
Выходные:	D	C	B	B	A	D	C	C	B	A	D	D	C	B	A	A

где A, B, C, D – бригады.

Длительность сменоборота:

$$T_{\text{см.об.}} = n_{\text{б}} \cdot T_{\text{м}}, \quad (86)$$

где $n_{\text{б}}$ - число бригад,

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

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

За длительность сменоборота бригада отдыхает 4 дня, за год 91 день, а

количество ночных смен в год – 81. Таким образом, на одного среднесуточного рабочего приходится 91 день выходных и 81 ночная смена в год. Составим баланс рабочего времени среднесписочного рабочего, с целью определения фонда рабочего времени (таблица 21).

Таблица 21 – Баланс рабочего времени среднесуточного рабочего

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

Эффективный фонд рабочего времени составит:

$$T_{\text{эф}} = 223 \cdot 8 = 1784 \text{ часа.} \quad (87)$$

5.1.2 Расчет численности рабочих, служащих, руководителей и специалистов

Численность производственных рабочих определяется исходя из прогрессивных норм обслуживания при полном обеспечении рабочими всех мест. Число рабочих мест определяется исходя из необходимых точек

наблюдения и операций обслуживания процесса, а также объёма работы на управление каждым участком.

Определим явочное число основных рабочих в сутки:

$$N_{\text{яв}} = \frac{1}{N_{\text{обс}}} \cdot n \cdot S \quad (88)$$

где $N_{\text{обс}}$ - норма обслуживания;

F - количество установок;

S - количество смен в сутки.

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

$$N_{\text{яв}} = \frac{1}{3} \cdot 20 \cdot 3 = 20 \text{ чел.} \quad (89)$$

Определим списочное число основных рабочих:

$$N_{\text{сп}} = N_{\text{яв}} \cdot \frac{T_{\text{эф.обор.}}}{T_{\text{эф.раб.}}}, \quad (90)$$

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

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

$$N_{\text{сп}} = 20 \cdot \frac{360}{223} = 32 \text{ чел.} \quad (91)$$

Состав рабочего персонала приведен в таблице 22.

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

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

- Дежурный слесарь (разряд 5) – 1;
- Дежурный электрик (разряд 5) - 1;
- Дежурный КИПиА (разряд 5) – 1.

Списочное число рабочих дежурного персонала:

$$K = \frac{T_{\text{раб.об}}}{T_{\text{раб.дн}}} = \frac{360}{223} = 1,6, \quad (92)$$

$$N_{\text{яв}} = \frac{1}{6} \cdot 20 \cdot 3 = 10 \frac{\text{чел}}{\text{сут}}, \quad (93)$$

$$N_{\text{сп}} = N_{\text{яв}} \cdot K = 10 \cdot 1,6 = 16 \text{ чел.} \quad (94)$$

Таблица 22 – Численность основных рабочих

Профессия	Разряд	Число рабочих в смену	$N_{\text{яв}}$ в сутки	$N_{\text{сп}}$ в сутки	Число рабочих дней в году	Число рабочих дней оборудования	Число смен в сутки
Аппаратчик	5	3	9	14	223	360	3
Аппаратчик	4	3	9	15			
Оператор	6	1	3	3			

Таблица 23 – Численность вспомогательного персонала

Профессия	Разряд	Число рабочих в смену	Число смен в сутки	$R_{\text{яв}}$, в сутки	$R_{\text{сп}}$, в сутки	Число рабочих дней в году	Число рабочих дней оборуд.
Дежурный слесарь	5	1	3	3	4	223	360
Дежурный электрик	5	1	3	3	4		
Дежурный КИПиА	5	1	3	3	4		

Таблица 24 – Численность руководителей, специалистов и служащих

Наименование должности	Категория	Количество работников
Начальник цеха	руководитель	1
Технолог цеха	специалист	1
Начальник смены	руководитель	3
Мастер смены	руководитель	3
Начальник участка	руководитель	1
Уборщица	Прочий персонал	3
Итого		12

5.2 Расчет годового фонда заработной платы

5.2.1 Расчет фонда заработной платы основных рабочих

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

Основной фонд (ЗП):

$$Z_{\text{осн.}} = Z_{\text{тар}} + D_{\text{прем}} + D_{\text{нв.}} + D_{\text{пр}}, \quad (95)$$

где $Z_{\text{тар}}$ – тарифный фонд;

$D_{\text{прем}}$ – доплата премий;

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

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

Тарифный фонд:

$$Z_{\text{тар}} = Z_{\text{тар}}^4 + Z_{\text{тар}}^5 + Z_{\text{тар}}^6, \quad (96)$$

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

$$Z_{\text{тар}}^i = R_{\text{сп}}^i \cdot T_{\text{эф}} \cdot T_{\text{сп}}^i, \quad (97)$$

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

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

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

Часовая тарифная ставка составляет для аппаратчиков:

6^{го} разряда - 75 руб/час;

5^{го} разряда - 70 руб/час;

4^{го} разряда - 60 руб/час.

Рассчитаем по формуле 97 заработную плату по тарифам:

$$З_{\text{тар}}^6 = 3 \cdot 1784 \cdot 75 = 401400 \text{ руб};$$

$$З_{\text{тар}}^5 = 14 \cdot 1784 \cdot 70 = 1713040 \text{ руб};$$

$$З_{\text{тар}}^4 = 15 \cdot 1784 \cdot 60 = 1605600 \text{ руб};$$

$$З_{\text{тар}} = 401400 + 1713040 + 1605600 = 3720040 \text{ руб}.$$

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

$$Д_{\text{н.вр}} = R_{\text{сп}}^i \cdot n_{\text{н.вр}} \cdot T_{\text{ст}}^i \cdot t_{\text{см}} \cdot П; \quad (98)$$

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

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

П - процент отчисления (40%).

Рассчитаем заработную плату за работу в ночное время:

$$Д_{\text{н.вр}}^6 = 3 \cdot 81 \cdot 75 \cdot 8 \cdot 0,4 = 58320 \text{ руб};$$

$$Д_{\text{н.вр}}^5 = 14 \cdot 81 \cdot 70 \cdot 8 \cdot 0,4 = 254016 \text{ руб};$$

$$Д_{\text{н.вр}}^4 = 15 \cdot 81 \cdot 70 \cdot 8 \cdot 0,4 = 272160 \text{ руб};$$

$$Д_{\text{н.вр}} = 58320 + 254016 + 272160 = 584496 \text{ руб}.$$

Доплата премий - 30% от тарифной ЗП:

$$Д_{\text{пр}} = З_{\text{тар}} \cdot \frac{П}{100} = 3720040 \cdot \frac{30}{100} = 1116012 \text{ руб}. \quad (99)$$

Доплата за работу в праздничные дни.

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

$$Д_{\text{пр}} = Д_{\text{пр}}^4 + Д_{\text{пр}}^5 + Д_{\text{пр}}^6; \quad (100)$$

$$Д_{\text{пр}}^i = R_{\text{яв}} \cdot N \cdot T_{\text{ст}}^i \cdot t_{\text{см}}, \quad (101)$$

где N - число праздничных дней в году.

Рассчитаем по формуле 101 доплату за праздничные дни:

$$D_{\text{пр}}^4 = 15 \cdot 120 \cdot 12 \cdot 8 = 172800 \text{ руб.};$$

$$D_{\text{пр}}^5 = 14 \cdot 140 \cdot 12 \cdot 8 = 188160 \text{ руб.};$$

$$D_{\text{пр}}^6 = 4 \cdot 150 \cdot 12 \cdot 8 = 57600 \text{ руб.};$$

$$D_{\text{пр}} = 172800 + 188160 + 57600 = 418650 \text{ руб.}$$

$$Z_{\text{осн}} = 3720040 + 584496 + 1116012 + 418650 = 5839108 \text{ руб.}$$

С учетом районного коэффициента (для Новосибирской области 1,25):

$$Z^1 = 5839108 \cdot 1,25 = 7298885 \text{ руб.} \quad (102)$$

5.2.2 Расчет фонда дополнительной заработной платы

$$Z_{\text{доп}} = Z_{\text{осн}} \cdot \frac{P_{\text{д.з}}}{100} = 7298885 \cdot \frac{12}{100} = 875866,2 \text{ руб.}, \quad (103)$$

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

Годовой фонд заработной платы основных рабочих:

$$Z = Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}} = 7298885 + 875866,2 = 8174751,2 \text{ руб.} \quad (104)$$

Данные расчёта годового фонда приведены в таблице 6.

5.2.3 Расчет фонда заработной платы вспомогательных рабочих

Тарифный фонд ЗП вспомогательных рабочих:

$$Z_{\text{тар}}^i = R_{\text{сп}}^i \cdot T_{\text{эф}} \cdot T_{\text{сп}}^i = 16 \cdot 1784 \cdot 70 = 1998080 \text{ руб.} \quad (105)$$

Доплата за работу в ночное время:

$$D_{\text{н.вр}} = 16 \cdot 81 \cdot 70 \cdot 8 \cdot 0,4 = 290304 \text{ руб.} \quad (106)$$

Доплата премий - 30% от тарифной ЗП:

$$D_{\text{пр}} = Z_{\text{тар}} \cdot \frac{P}{100} = 1998080 \cdot \frac{30}{100} = 599424 \text{ руб.} \quad (107)$$

Таблица 25 – Расчет годового фонда заработной платы рабочих

Категория рабочих	Основные		
	Повременно - премиальная		
Система оплаты труда			
Разряд	4	5	6
Тарифная ставка, руб/час	60	70	75
Численность списочных рабочих,	15	14	3
Фонд рабочего времени, час	1784		
Тарифный фонд, руб/год	3720040		
Доплата за ночное время, руб/год	584496		
Доплата за праздничные дни,	418650		
Доплата премий, руб/год	1116012		
Основной фонд ЗП, руб/год	7298885		
Дополнительный фонд заработной	875866,2		
Годовой фонд заработной платы,	8174751,2		

Доплата за работу в ночное время:

$$D_{н.вр} = 16 \cdot 81 \cdot 70 \cdot 8 \cdot 0,4 = 290304 \text{ руб.} \quad (106)$$

Доплата премий - 30% от тарифной ЗП:

$$D_{пр} = Z_{тар} \cdot \frac{П}{100} = 1998080 \cdot \frac{30}{100} = 599424 \text{ руб.} \quad (107)$$

Доплата за работу в праздничные дни.

$$D_{пр}^5 = 16 \cdot 140 \cdot 12 \cdot 8 = 215040 \text{ руб;} \quad (108)$$

$$Z_{осн} = 1998080 + 290304 + 599424 + 215040 = 3102848 \text{ руб.} \quad (109)$$

С учетом районного коэффициента (для Новосибирской области 1,25):

$$Z^1 = 3102848 \cdot 1,25 = 3878560 \text{ руб.} \quad (110)$$

5.2.4 Расчет фонда дополнительной заработной платы

$$Z_{доп} = Z_{осн} \cdot \frac{П_{д.з}}{100} = 3878560 \cdot \frac{12}{100} = 465427,2 \text{ руб.} \quad (111)$$

Годовой фонд заработной платы вспомогательных рабочих:

$$Z = Z_{осн} + Z_{доп} = 3878560 + 465427,2 = 4343987,2 \text{ руб.} \quad (112)$$

Данные расчёта годового фонда заработной платы вспомогательных рабочих приведены в таблице 26.

Таблица 26 – Расчет годового фонда заработной платы вспомогательных рабочих

Категория рабочих	Вспомогательные
Система оплаты труда	Повременно - премиальная
Разряд	5
Тарифная ставка, руб/час	70
Численность списочных рабочих, чел.	16
Фонд рабочего времени, час	1784
Тарифный фонд, руб/год	1998080
Доплата за ночное время, руб/год	290304
Доплата за праздничные дни, руб/год	599424
Доплата премий, руб/год	215040
Основной фонд заработной платы, руб/год	3878560
Дополнительный фонд заработной платы, руб/год	465427,2
Годовой фонд заработной платы, руб/год	4343987,2

5.2.5 Расчет годового фонда заработной платы руководителей, специалистов и служащих

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

Начальник цеха - 60000 руб.

Технолог - 50000 руб.

Начальник участка - 45000 руб.

Начальник смены - 40000 руб.

Мастер смены - 35000 руб.

Уборщица - 12000 руб.

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

$$\Phi_{\text{осн}} = 1 \cdot 11 \cdot 60000 + 1 \cdot 11 \cdot 50000 + 1 \cdot 11 \cdot 45000 + 3 \cdot 11 \cdot 40000 + 3 \cdot 11 \cdot 35000 + 3 \cdot 11,3 \cdot 12000 = 4583200 \text{ руб.} \quad (113)$$

Основная ЗП вычисляется по формуле:

$$З_{\text{осн}} = З_{\text{тар}} + Д_{\text{п.дн}} + Д_{\text{вред}}; \quad (114)$$

$$Д_{\text{п.дн}} = \frac{T_{\text{окл}}}{26,5} \cdot N \cdot P_{\text{яв}}; \quad (115)$$

где N – количество праздничных дней в году (равное 12).

Рассчитаем по формуле 115 добавку к заработной плате за работу в праздничные дни:

$$Д_{\text{п.дн}}^{\text{н.цеха}} = \frac{60000}{26,5} \cdot 12 \cdot 1 = 27170 \text{ руб.};$$

$$Д_{\text{п.дн}}^{\text{техн}} = \frac{50000}{26,5} \cdot 12 \cdot 1 = 22642 \text{ руб.};$$

$$Д_{\text{п.дн}}^{\text{н.уч}} = \frac{45000}{26,5} \cdot 12 \cdot 1 = 20377 \text{ руб.};$$

$$Д_{\text{п.дн}}^{\text{н.смены}} = \frac{40000}{26,5} \cdot 12 \cdot 3 = 54340 \text{ руб.};$$

$$Д_{\text{п.дн}}^{\text{м.смены}} = \frac{35000}{26,5} \cdot 12 \cdot 3 = 47547 \text{ руб.};$$

$$Д_{\text{п.дн}}^{\text{убор}} = \frac{12000}{26,5} \cdot 12 \cdot 3 = 16302 \text{ руб.};$$

$$З_{\text{осн}} = 4583200 + 27170 + 22642 + 20377 + 54340 + 47547 + 16302 = 4771578 \text{ руб.} \quad (116)$$

С учетом районного коэффициента (для Новосибирской области 1,25):

$$З^1 = 4771578 \cdot 1,25 = 5964472,5 \text{ руб.} \quad (117)$$

Дополнительная ЗП:

Принимается в размере 10 - 12% от основной ЗП:

$$З_{\text{доп}} = 5964472,5 \cdot 0,1 = 596447,25 \text{ руб.} \quad (118)$$

Годовой фонд заработной платы:

$$\Phi_{\text{зп}} = З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}} = 5964472,5 + 596447,25 = 6560909,75 \text{ руб.} \quad (119)$$

Таблица 27 – Результаты расчетов заработной платы руководителей, специалистов и прочего персонала

Наименование должности	Категория	Число шт. ед.	З _{ТАР} , руб./год	З _{осн} , руб./год	З _{доп} , руб./год	З _{год} руб./год
Начальник цеха	Руководители, специалисты	1	660000	687170	68717	755887
Технолог		1	550000	572642	57264	629906
Начальник участка		1	495000	515377	51537	566914
Начальник смены		3	1320000	1374340	137434	1511774
Мастер смены		3	1155000	1202547	120254	1322801
Уборщица	Прочий персонал	3	406800	423102	42310	465412
Итого		12	4583200	4775178	477516	5252694

Общий фонд заработной платы:

$$\begin{aligned} \Phi_{\text{общ}} &= З_{\text{осн. раб}} + З_{\text{всп. раб}} + З_{\text{ИТР и МОП}} = 4343987,2 + 8174751,2 + 6560909,75 \quad (120) \\ &= 19079658,15 \text{ руб.} \end{aligned}$$

5.2.6 Расчет капитальных затрат на строительство

Величина капитальных затрат на здание цеха и его сооружение определяется по укрупненным параметрам. Такими параметрами являются: стоимость 1 м³ здания согласно действующим поясным ценам на строительство

и стройматериалы с учетом характера здания, его размеры и назначение [13].

Выбираем под цех помещение: длина которого составляет 36 м, ширина – 12 м, высота – 8,4 м. Производственная площадь – 432 м²; полный объем помещения – 3628,8 м³; стоимость 1 м² – 20000 руб; стоимость здания – 8640000руб.

Таблица 28 – Затраты на санитарно - технические работы

Затраты	% от затраты на постройку здания	Цена, руб.
На отопление	5	432000
На вентиляцию	5	432000
На водопровод	3	259200
На канализацию	3	259200
На освещение	2	172800
Итого:	18	155200

Полная стоимость здания составит:

$$C_{зд} = 8640000 + 155200 = 8795200 \text{руб.} \quad (121)$$

5.2.7 Расчет стоимости оборудования

Капитальные затраты на оборудование составят:

$$Z_{к.об.} = C_{об} + Z_{тр.} + Z_{монт.} + Z_{сп.р.} = 4616 + 1754 = 6370 \text{ тыс. руб.} \quad (122)$$

Капитальные затраты на оборудование составят:

$$Z_{к.об.} = C_{об} + Z_{тр.} + Z_{монт.} + Z_{сп.р.} = 4616 + 1754 = 6370 \text{ тыс. руб.} \quad (123)$$

Сумма капитальных затрат:

$$\Sigma Z_{кап} = C_{зд} + Z_{к.об.} = 8795,2 + 6370 = 15165,2 \text{ млн. руб.} \quad (124)$$

Таблица 29 – Стоимость основного оборудования

Наименование	Количество	Цена за ед, тыс.руб.	Цена, тыс.руб.
Реактор - растворитель	9	200	1800
Насос	15	13,680	205,2
Бункер - накопитель	2	50	100
Сушильный шкаф	1	96,2	96,2
Центрифуга	9	170	1530
Валковая дробилка	1	635	635
Шнек	10	25	250

Таблица 30 – Расходы на наладку и монтаж оборудования

Наименование нормативов	% от стоимости оборудования	Сумма, тыс. руб.
Транспортные расходы	8	369
Монтажные расходы	20	923
Специальные работы	10	461
Итого:	38	1754

Таблица 31 – Полные капитальные затраты

Наименование глав сметы	Капитальные затраты	
	млн. руб.	%
Здание	8,795	58,25
Оборудование	6,37	41,75
Итого:	15,09	100

5.2.8 Расчет затрат на производство

Затраты на ремонт здания составляют 2% от стоимости здания:

$$Z_p = 8795000 \cdot 0,02 = 175900 \text{ руб/год.} \quad (125)$$

Содержание здания (включает в себя затраты на освещение, отопление, вентиляцию) – 2% от стоимости здания:

$$Z_{\text{сод.}} = 8795000 \cdot 0,02 = 175900 \text{ руб/год.} \quad (126)$$

Амортизационные отчисления:

$$Z_{\text{ам.}} = 8795000 \cdot 0,037 = 325415 \text{ руб/год.} \quad (127)$$

Сумма затрат на содержание и эксплуатацию здания составляет:

$$\Sigma Z_{\text{зд}} = 175900 + 325415 + 175900 = 677215 \text{ руб.} \quad (128)$$

Ремонт производственного оборудования обходится в 15% от стоимости оборудования:

$$Z_p = 6370000 \cdot 0,15 = 955500 \text{ руб.} \quad (129)$$

Расходы на содержание оборудования составляют 5% от стоимости оборудования:

$$Z_{\text{сод.}} = 6370000 \cdot 0,05 = 318500 \text{ руб.} \quad (130)$$

Отчисления на амортизацию оборудования – 10% от стоимости оборудования:

$$Z_{\text{ам.}} = 6370000 \cdot 0,1 = 637000 \text{ руб.} \quad (131)$$

Сумма расходов на содержание и эксплуатацию оборудования составляет:

$$\Sigma Z_{\text{об}} = 955500 + 318500 + 637000 = 1911000 \text{ руб.} \quad (132)$$

Таким образом, общепроизводственные расходы составят:

$$Z_{\text{общ.}} = 677215 + 1911000 = 2588215 \text{ руб.} \quad (133)$$

5.3 Расчет технологических затрат

5.3.1 Расчет затрат на электроэнергию

$$Z_{\text{эн.}} = T_{\text{э}} \cdot N_{\text{т}} \cdot T_{\text{р.об}}, \quad (134)$$

где $T_{\text{э}}$ – стоимость 1 кВт·ч электроэнергии, руб. (2,51 руб.);
 $N_{\text{т}}$ – суммарная мощность электродвигателей, кВт (73,8 кВт);
 $T_{\text{р. об.}}$ – время работы оборудования в год, час (8640 час).

$$Z_{\text{эн.}} = 2,51 \cdot 73,8 \cdot 8640 = 1600456,32 \text{ руб/год.}$$

5.3.2 Затраты на освещение

Затраты на освещение можно рассчитать по формуле:

$$W_{\text{осв.}} = \frac{15 \cdot S_{\text{п}} \cdot M \cdot m}{1000}, \quad (135)$$

где 15 – количество Ватт на 1 м² пола;
 $S_{\text{п}}$ – площадь пола, м² (432 м²);
 M – количество часов искусственного освещения в сутки (24 ч.);
 m – число дней работы производства в году, (360 дня).

$$W_{\text{с.к.}} = (15 \cdot 432 \cdot 24 \cdot 360 \cdot 2,51) / 1000 = 140527,872 \text{ руб/год.}$$

5.3.3 Затраты на вентиляцию

В помещении установлена общеобменная приточно - вытяжная вентиляция.

$$W_{\text{вент.}} = P_{\text{э.д.}} \cdot 24 \cdot m, \quad (136)$$

где $P_{\text{э.д.}}$ – мощность электродвигателя, кВт;
24 – количество часов в сутки.

Установим в цехе вентиляторы в количестве 8 штук, ($P_{\text{э.д.}} = 4$ кВт).

$$W_{\text{вент.}} = 4 \cdot 8 \cdot 8640 \cdot 2,51 = 693964,8 \text{ руб/год.}$$

5.3.4 Затраты на отопление

$$P_{\text{отоп.}} = \frac{\alpha \cdot V \cdot T}{1000}, \quad (137)$$

где α – количество тепла на 1 м³ помещения, кВт (4,4 кВт);

T – продолжительность отопительного сезона, ч (6480 ч).;

$V_{\text{зд}}$ – объем отапливаемого помещения, м³ (3585,6 м³).

$$W_{\text{отоп.}} = (4,4 \cdot 3585,6 \cdot 6480 \cdot 2,51) / 1000 = 256603,9 \text{ руб/год.}$$

5.3.5 Затраты на ОТ и ТБ

Расходы на охрану труда и технику безопасности составляют 12% от общего фонда заработной платы:

$$З_{\text{от. тб.}} = 19079658,15 \cdot 0,12 = 2289558,96 \text{ руб/год.} \quad (138)$$

5.3.6 Отчисления на социальные нужды

Отчисления от заработной платы составляют 30% от общего фонда заработной платы:

$$З_{\text{соц.}} = 19079658,15 \cdot 0,3 = 5723897,445 \text{ руб/год.} \quad (138)$$

5.3.7 Калькуляция себестоимости

Определим стоимость получения на определенный объем производства $Q_{\text{год}} = 50$ тонн в год.

Таблица 32 – Затраты на сырьё

Наименование	Цена за единицу, руб./ед.	Количество на весь годовой выпуск, ед.	Итоговые затраты, руб.
Безводный HF	160	4481685	717069600
CaCl ₂	210	345600	72576000
Итого			789645600

Калькуляция себестоимости приведена в таблице 33.

Таким образом, себестоимость составляет 831592687 рублей в год. При этом, в связи с дороговизной хладагента и безводного HF основная доля, равная 93,5% приходится на сырьё и материалы.

Таблица 33 – Калькуляция стоимости передела

Статьи затрат	Ед. измер.	Цена ед. прод., руб.	Норма в год	Сумма руб./год
Безводный HF	кг	160	4481685	717069600
CaCl ₂	кг	210	345600	72576000
Электроэнергия на тех. нужды	кВт	2,51	637632	1600456
Итого условно-переменные затраты				791246056
Фонд ЗП: основных рабочих руководителей, служащих, пр.персонала и вспомогательных рабочих		руб. руб. руб.		8174751,2 14343987,2 6560909,75
Отчисления на соц. нужды		руб.		5723897,445
Расходы на содержание и эксплуатацию оборудования: амортизация оборудования тек.и кап. ремонты содержание оборудования		руб. руб. руб. руб.		63700 955500 318500
Цеховые расходы: амортизация здания содержание здания тек.и кап. ремонты расходы на ОТ и ТБ		руб. руб. руб. руб. руб.		175900 325415 323415 2289558,96
Общезаводские расходы		руб.		1091096,6
Итого условно-постоянные затраты				40346631
Себестоимость				831592687

На содержание и эксплуатацию оборудования направляется 0,91%, на долю оплаты труда и социальные нужды – 4,2%. Затраты на содержание и эксплуатацию здания составляют 1,39 % от общих затрат. Диаграмма себестоимости приведена на рисунке 15.

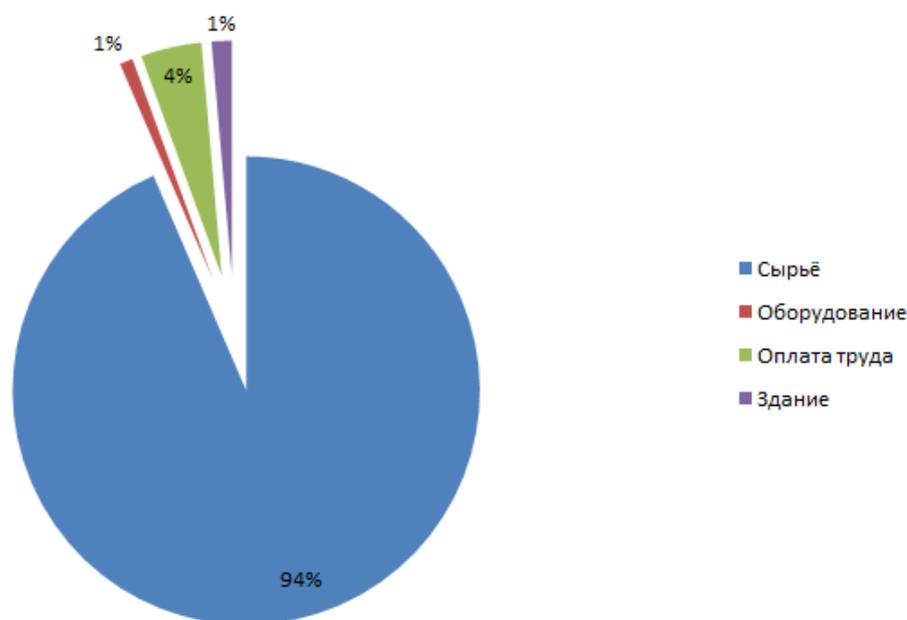


Рисунок 16 – Диаграмма основных затрат

Стадия отмывки титанового порошка от катодного осадка входит в общую технологическую схему получения металлического титана по фторидной технологии. Так как фторидная технология в 3 - 4 раза дешевле, чем существующая хлоридная, то себестоимость процесса отмывки катодного осадка равная 831592687, считается приемлемой.

Так как конечный продукт проектируемого цеха является промежуточным продуктом в осуществляемой технологической переработке и не имеет товарной формы (и соответственно цены), невозможно произвести анализ безубыточности, выявить критический объем и другие экономические показатели, дающие оценку эффективности проекта.

6 Социальная ответственность

Охрана труда - система обеспечения безопасности жизни и здоровья работников в процессе трудовой деятельности, включая правовые, социально-экономические, организационно-технические, санитарно-гигиенические, лечебно-профилактические и иные мероприятия. Конституция Российской Федерации, Трудовой кодекс, Основы законодательства РФ об охране труда, устанавливают гарантии осуществления права трудящихся на охрану труда, отвечающих требованиям сохранения жизни и здоровья работников.

Администрация предприятий, учреждений, обязана обеспечивать надлежащее техническое оборудование всех рабочих мест и создавать на них условия работы, соответствующие единым межотраслевым и отраслевым правилам по охране труда, санитарным правилам и нормам, разрабатываемым и утверждаемым в порядке, установленном законодательством.

Основным государственным документом, определяющим основы охраны труда, является статья 37 Конституции РФ [14]. Федеральная служба по труду и занятости Министерства здравоохранения и социального развития Правительства Российской Федерации является федеральным органом исполнительной власти, осуществляющим контроль и надзор в сфере труда.

6.1 Общая характеристика производства

В проектируемом цехе выделения металлического титана из катодного осадка имеют место следующие виды опасности:

- опасность отравления парами и аэрозолями химически агрессивных и токсичных веществ (пары фтороводорода);
- опасность поражения электрическим током;
- наличие вращающихся частей и механизмов оборудования;
- наличие трубопроводов, работающих под давлением;
- опасность термических ожогов;

– опасность воздействия вибрации и различных шумов на производстве (компрессоры, насосы);

– опасность возникновения пожара.

В связи с наличием данных опасностей производство относится к вредным.

Основные свойства сырья и реагентов по токсичности приведены в таблице 34 [15].

Таблица 34 – Основные свойства сырья и реагентов по токсичности.

Наименование сырья, реагентов, продукции	Класс опасности	ПДК Рабочей зоны, мг/м ³
Катодный осадок в т.ч.:		
LiF	2	1/0,2
NaF	2	1/0,2
KF	2	1/0,2
Титан	4	10
Фтороводород	1	0,5

К наиболее опасным аппаратам в технологической схеме относятся валковая дробилка для измельчения катодного осадка, которая служит источником шума и вибрации, печь для сушки титанового порошка работает при высоких температурах, что может послужить причиной ожога.

При эксплуатации дробилки для обеспечения безопасности необходимо снабдить ограждениями приводы. Что бы избежать аварии над транспортной лентой устанавливают электромагниты, снабжают установку автоблокировкой подачи материала, для предотвращения запылённости воздуха производят герметизацию загрузочного и разгрузочного отверстия.

6.2 Промышленная санитария

Важным условием безопасной работы является правильная эксплуатация производства. Для исключения взаимодействия безводного фтороводорода с водой случайные протоки производственных растворов должны своевременно ликвидироваться. В качестве борьбы с выделением фтороводорода в воздух рабочих помещений должна быть обеспечена герметизация аппаратуры, коммуникаций; использование особо стойких к коррозии материалов.

Спец одежда, предназначенная для работы в цехе состоит из фильтрующего противогаза марки В, резиновых перчаток, фартука, сапог, применяются защитные очки из оргстекла.

Цех должен быть оснащён душем, раковиной или ёмкостью с водой для своевременных действий при попадании фтороводорода на кожу. Так же рядом с водой должен располагаться 2,5 % гель глюконата кальция.

Допуск к работе с вредными и токсичными веществами без спецодежды и других защитных средств запрещается. Средства защиты перед началом работы должны быть проверены [16]

6.3 Вентиляция производственных помещений

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

Производительность по кратности воздухообмена рассчитывается по формуле:

$$L=n \cdot S \cdot H, \quad (139)$$

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

S – площадь помещения, m^2 ;

H – высота помещения, m ;

Рассчитаем производительность по формуле:

$$L = 3 \cdot 288 \cdot 8,4 = 7257,6 \text{ м}^3/\text{ч}. \quad (140)$$

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

6.4 Электробезопасность

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

В соответствии с «Правилами устройств электроустановок» (ПУЭ) делят все помещения по опасности поражения электрическим током на следующие классы:

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

Помещение, в котором находится аппарат, можно отнести к помещениям особо опасным – помещения с токопроводящими полами, а также помещения, в которых существует опасность одновременного прикосновения к металлическим конструкциям и корпусам электрооборудования.

Цех отмывки катодного осадка можно отнести к особо опасному помещению. На данном производстве опасность поражения электрическим током создает следующее оборудование:

- электродвигатели;
- осветительные установки, приборы и автоматика;
- насосы.

Основные опасности, обусловленные электрическим током:

1 Опасность напряжения прикосновения - при прикосновении человека к незаземленным токоведущим частям электроустановок, находящихся под напряжением.

2 Опасность напряжения перехода - при прикосновении человека к незаземленным металлическим частям электроустановок, находящихся под напряжением.

3 Опасность токов короткого замыкания [17].

Для защиты от напряжения прикосновения используются малое напряжение (в переносных светильниках), изоляция токоведущих частей, предупредительная сигнализация.

Для защиты от напряжения перехода используется защитное заземление.

Для защиты от токов нагрузки используются автоматическое отключение, установка плавких предохранителей.

Для предотвращения пропускания тока, полы в цехе выполнены из бетона.

6.5 Пожарная безопасность

Цех получения металлического титана относится к помещениям класса А, так как применяется взрывоопасный газ, при воспламенении которого развивается расчетное избыточное давление взрыва в помещении более 5 кПа, превышает 5% от площади всех помещений.

Во избежание возникновения пожара необходимо соблюдать следующие условия:

- запрещается использовать органические смазочные материалы;
- не допускается перегрузка электропроводок;

- необходимо следить за герметичностью аппаратуры;
- запрещается курение на производственной площадке;
- иметь в наличие средства пожаротушения (углекислотные огнетушители ОУ-5, порошковые огнетушители ОПС-10, асбестовое полотно).

Пожарные щиты с набором инвентаря и ящиками для песка $V = 1 \text{ м}^3$ располагаются на выходе из помещений и здания так, что бы не препятствовать эвакуации людей.

6.6 Освещение

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

Для благоприятных рабочих условий, степень освещённости в производственных помещениях нормируется.

Число светильников для цеха определяется по формуле:

$$n = \frac{E \cdot S \cdot Z \cdot K}{F \cdot U \cdot m}, \quad (141)$$

Где E - нормированная освещенность, $E = 300 \text{ лк}$;

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

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

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

F – световой поток одной лампы, ЛД 40, $F = 2130 \text{ лм}$;

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

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

$$n = \frac{300 \cdot 288 \cdot 1,2 \cdot 1,2}{2130 \cdot 0,55 \cdot 2} = 53,1$$

Расчетное количество ламп ЛД 40 составило 54 штуки. Высота подвеса светильников должна быть не меньше 1м.

6.7 Мероприятия по защите от шума и вибрации

К источникам шума относятся вентиляторы и электродвигатели, которые при установке в соответствии с техническими требованиями не должны превышать установленные техническими условиями допустимых норм. Требования к уровню шума устанавливаются в соответствии с Гигиеническими нормами допустимых уровней звукового давления и уровней звука на рабочих местах № 1004 - 73 и Санитарными нормами допустимого шума в помещениях жилых и общественных зданий и на территории жилой застройки № 872 - 70.

Ожидаемые уровни шума от вентиляционной системы здания не должны превышать допустимое значение звукового давления равного 85дБ.

Для борьбы с шумом и вибрацией применяются следующие методы:

- установка вентагрегатов в отдельных выгороженных помещениях-венткамерах, расположенных в удаленных от рабочих мест частях здания;
- подбор диаметров воздуховодов по средним скоростям в магистральных воздуховодах для уменьшения сопротивления сети (4 - 8 м/с);
- плавное соединение воздуховодов с вентиляционным агрегатом с помощью переходов и гибких вставок;
- виброизоляция вентагрегатов с помощью пружинных амортизаторов - виброизоляторов, идущих в комплекте к вентиляционным агрегатам. Перед установкой на виброизоляторы, вентиляционные агрегаты жёстко монтируются на металлической раме;
- монтаж насосов и химического оборудования беспрокладочным методом с применением установочных винтов, удаляемых после подливки. Питание к электродвигателям подведено гибкими кабелепроводами.

6.8 Мероприятия по охране окружающей среды

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

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

Выбросы, вредные воздействия которых определяются наличием в них фтористого водорода, перед выбросом в атмосферу проходят санитарную очистку на газоочистной установке, состоящей из двух последовательно включенных в работу абсорбционных колонок.

7 Автоматизация процесса

Автоматизация технологического процесса – это совокупность методов и средств, предназначенная для реализации системы или систем, позволяющих осуществлять управление производственным процессом без непосредственного участия человека.

К основным целям автоматизации технологических процессов можно отнести повышение эффективности и безопасности производственного процесса. Внедрение автоматических устройств обеспечивает высокое качество продукции, сокращение брака, уменьшение отходов, уменьшение затрат сырья и энергии, уменьшение численности основных рабочих, снижение капитальных затрат на строительство зданий, удлинение сроков межремонтного пробега оборудования и снижение влияния «человеческого» фактора на производство.

Химическая промышленность отличается сложностью и высокой скоростью протекания технологических процессов, чувствительностью их к нарушению режима, вредностью условий работы, токсичностью, взрыво- и пожароопасностью используемых веществ. В связи с перечисленным, автоматизации в химической промышленности уделяется большое внимание.

Комплексная автоматизация процессов химической технологии обеспечивает не только автоматическое обеспечение нормального хода этих процессов с использованием различных автоматических устройств (контроля, регулирования, сигнализации), но и автоматическое управление пуском и остановкой аппаратов для ремонтных работ и при аварийных ситуациях [18].

В данном курсовом проекте разработана схема автоматизации процесса выделения металлического титана из катодного осадка. Осаждение проводится в трёх аппаратах с механическим перемешиванием.

Автоматизация данного процесса позволяет уменьшить количество обслуживающего персонала, снизить себестоимость готовой продукции.

7.1 Составление функциональной схемы автоматизации

Функциональная схема автоматизации (ФСА) является одним из основных проектных документов, определяющих функциональную структуру и объем автоматизации технологических установок и отдельных агрегатов промышленного объекта.

ФСА представляет собой чертеж, на котором схематически условными обозначениями изображены: технологическое оборудование; коммуникации; органы управления и средства автоматизации (приборы, регуляторы, вычислительные устройства) с указанием связей между технологическим оборудованием и элементами автоматики, а также связей между отдельными элементами автоматики.

В выполняемом курсовом проекте объектом автоматизации является процесс выделения металлического титана из катодного осадка. Данный процесс осуществляется в трёх реакторах – агитаторах, работающих в периодическом режиме. Для создания ФСА тщательно был изучен технологический процесс, выявлены величины, влияющие на его протекание, найдена связь между ними.

7.2 Описание функциональной схемы автоматизации

Для осуществления процесса выделения металлического титана из катодного осадка производительностью 50 тонн/год по титану, необходимо обеспечить подвод реагентов в реактор (2₁, 2₄, 2₇). Подача реагентов осуществляется шнеком из бункера (I), в котором находится измельчённый катодный порошок. Через трубопровод из цеха подготовки растворителя подаётся безводный HF в реактор (2₃, 2₆, 2₉).

В соответствии с технологией ведения процесса, в первый момент времени в реактор (2₁, 2₄, 2₇) подаётся 5,51 кг катодного порошка из бака – накопителя 1₁, вес катодного порошка контролируется тензометрическим

датчиком (позиция 1-1). Подача осуществляется шнеком (позиция 3, 20, 27), частота вращения которого регулируется частотным преобразователем (позиция 2-1, 19-5, 26-1).

Подача безводного фтороводорода в реактор (2₁, 2₄, 2₇) в количестве 0,52 м³/ч осуществляется одновременно с подачей катодного осадка в течении 10 минут через патрубок диаметром 250 мм, из второй центрифуги каскада (3₂, 3₅, 3₈) с помощью насоса (позиция 4, 21, 38)

Одновременно с началом подачи раствора HF_{б.в.}, происходит пуск двигателя (позиция 5, 22, 39), который приводит мешалку в движение.

Температура смеси, в процессе отмывки должна составлять минус 20 °С, контроль температуры проводится термопарой (позиция 6-1, 23-1, 40-1). Для охлаждения смеси до нужной температуры в реакторе предусмотрена охлаждающая рубашка, в которую подается CaCl₂ с температурой - 20 °С, подача рассола регулируется исполнительным механизмом (позиция 6-7, 23-7, 40-7).

Процесс отмывки в первом реакторе каскада занимает 60 мин. После отмывки срабатывает исполнительный насос (позиция 8, 25, 42), смесь из ректора (2₁, 2₄, 2₇) направляется в первую центрифугу (3₁, 3₄, 3₇), где происходит разделение твёрдой и жидкой фазы в течении 10 мин. Фугат после с первой ступени отмывки самотёком отправляется на отгонку HF. Твёрдая фаза шнеком (позиция 9, 26, 43) подаётся во второй реактор каскада (2₂, 2₅, 2₈), туда же подаётся фугат с третьей ступени отмывки, подача фугата осуществляется насосом (позиция 10, 27, 44). Одновременно с началом подачи фугата, происходит пуск двигателя (позиция 11, 29, 45), который приводит мешалку в движение. Контроль температуры проводится термопарой (позиция 12-1, 29-1, 46-1).

После отмывки во втором реакторе срабатывает насос (13, 30, 47), смесь из ректора (2₂, 2₅, 2₈) направляется во вторую центрифугу (3₂, 3₅, 3₈), где происходит разделение твёрдой и жидкой фазы в течении 10 мин. Твёрдая фаза

после процесса центрифугирования шнеком (позиция 14,37, 48) подаётся в третий реактор (2₃, 2₆, 2₉), одновременно с подачей твёрдой фазы подаётся безводный HF, подача регулируется исполнительным механизмом (позиция 15, 32, 49). Одновременно с началом подачи безводного HF, происходит пуск двигателя (позиция 16, 33, 50), который приводит мешалку в движение. Контроль температуры проводится термопарой (позиция 17-1, 34-1, 51-1). После отмывки срабатывает насос (позиция 18, 25, 52), смесь из ректора (2₃, 2₆, 2₆) направляется в третью центрифугу (3₃, 3₆, 3₉), где происходит разделение твёрдой и жидкой фазы.

Датчиком уровня с сигнализацией (позиция 53 - 1) оснащён бак накопитель (4₁). Установлен тензометрический датчик (позиция 54-1), для контроля над весом титанового порошка, поступающего в сушильную печь. Подача пульпы осуществляется шнеком (позиция 56), обороты которого регулируются частотным преобразователем (позиция 55-1). Сушка в печи (5₁) осуществляется в течении пяти часов, после чего происходит выгрузка титанового порошка. Температура в печи контролируется термопарой (позиция 57 - 1).

7.3 Перечень технологических параметров, подлежащих контролю, регулированию, сигнализации

Контролю подлежат:

- 1 Вес катодного порошка (5,51 кг);
- 2 Температура в аппарате (2₁-2₉) (минус 20 °С);
- 3 Уровень пульпы в баке - накопителе (4₁);
- 4 Температура в печи (5₁) (100 °С);
- 5 Вес титанового порошка (142 кг);
- 6 Частота вращения шнека (3, 20, 37, 56) .

Регулированию подлежит:

- 1 Температура в аппарате (2₁, 2₄, 2₇) (минус 20 °С);

- 2 Предельный верхний уровень пульпы в баке – накопителе 4₁;
- 3 Частота вращения шнека (3, 20, 37, 56)

Сигнализации подлежат

- 1 Верхний уровень пульпы в баке – накопителе.
- 2 Верхний предел температуры в печи.

7.4 Перечень первичных преобразователей

Для получения информации о состоянии объекта и условиях работы служат устройства контроля (контрольно-измерительные приборы). 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) [19].

Для контроля технологических параметров процесса выделения металлического титана из катодного осадка выбраны контрольно-измерительные приборы, список которых представлен ниже.

Тензометрический одноточечный датчик К-О-10А предназначены для измерения малых нагрузок и используются при изготовлении платформенных весов, дозаторов, фасовочного оборудования.

- наибольший предел : 15кг;
- температура измеряемой среды: - 30 до 50 °С;
- относительная погрешность: ±1,5 %;
- позиция: 1-1.

Тензометрический одноточечный датчик К – О – 10Г.

- наименьший предел: 50 кг;
- наибольший предел: 800кг;
- температура измеряемой среды: -30 до 50 °С;

- позиция: 54 - 1.

Вибрационный сигнализатор уровня Rosemount серии 2130 предназначен для контроля предельных уровней жидкостей в реакторах, технологических емкостях и товарных резервуарах.

контролируемые среды: практически все жидкости с плотностью не ниже 500 кг/м^3 и вязкостью от 0,2 до 10000 сП;

- температура процесса: от -70 до $260 \text{ }^\circ\text{C}$;
- температура окружающей среды: от -40 до $80 \text{ }^\circ\text{C}$;
- давление процесса: от $-0,1$ до 10 Мпа ;
- погрешность: $\pm 1\%$;
- выходной сигнал: $4\text{--}20 \text{ мА}$;
- позиция: 53-1.

Платиновый термопреобразователь сопротивления ТСП 0301 предназначается для измерений температуры жидких, газообразных сред и твёрдых тел, которые не разрушают защитную арматуру.

- рабочий диапазон измеряемых температур: от минус 200 до $400 \text{ }^\circ\text{C}$;
- допустимые отклонения: $\pm 2,5 \text{ }^\circ\text{C}$;
- выходной сигнал: $0\text{--}5 \text{ мА}$;
- Диапазон давления – $0,4 \text{ Мпа.}$;
- позиция: 6-1; 12-1; 17-1; 23-1; 29-1; 34-1; 40-1; 46-1; 51-1; 57-1.

Преобразователь частоты МСI – G0.75 – 4В

- мощность: $0,75 \text{ кВт}$;
- ток $2,3 \text{ А}$;
- напряжение $3\text{--}380 \text{ В}$;
- позиция: 2-1; 19-1; 36-1; 55-1.

7.5 Автоматизация процесса с использованием ЭВМ

Применение ЭВМ в схемах автоматизации технологических процессов позволяет решать задачи оптимального управления путём обработки текущей

статической информации. При этом рассчитываются текущие и оптимальные значения величин процесса, непосредственное измерение которых затруднено. При отклонении текущих значений от оптимальных, вырабатываются новые задания, локальным автоматическим регуляторам с целью поддержания процесса на оптимальном уровне.

Классификация по применению вычислительной техники в системах управления:

1 АСУ ТП без применения ЭВМ.

2 АСУ ТП с применением ЭВМ в информационном режиме.

Фиксирует параметры процесса, ошибки операторов.

3 ЭВМ в режиме советчика оператору. По рекомендации ЭВМ, полученной по математической модели, учета личных знаний и опыта оператор реализует управляющее воздействие по достижению оптимальных выходных и режимных переменных. Наиболее часто режим советчика – оператору реализуется в диалоговом режиме, когда совет выдается по запросу оператора.

4 Супервизорное управление. В автоматическом режиме АСУ ТП вырабатывает и реализует управляющее воздействие без участия оператора: ЭВМ выполняет функции центрального управляющего устройства, изменяя задания АР или коэффициента настройки АР;

5 Режим прямого цифрового управления. Прямое цифровое управление (ПЦУ), когда ЭВМ непосредственно вырабатывает сигналы управления на исполнительные устройства [20].

Супервизорный режим позволяет осуществлять автоматическое управление процессом. Роль оператора сводится к наблюдению за процессом и, в случае необходимости, к корректировке цели управления и ограничений на переменные. Роль АСУ ТП сводится к регулированию процесса в автоматическом режиме. Супервизорный режим реализуется при подаче жидких реагентов, так как всё время изменяется напор и необходим постоянный контроль за расходом.

Действия оператора при пуске технологического процесса:

Оператор включает насос для подачи жидких компонентов и двигателя шнекового питателя подачи твёрдых компонентов приготовляемой пульпы. После заполнения реакторов оператор включает перемешивающее устройство, осуществляет подачу охлаждающего агента. Скорость перемешивания на протяжении всего процесса не изменяется.

Действия оператора при нормальном режиме технологического процесса:

Оператор следит за показателями, осуществляет операции необходимые при загрузке и разгрузки реакторов – растворителей, осуществляет процесс подачи пульпы на процесс центрифугирования, производит включения и отключение центрифуги. Осуществляет контроль за температурой процесса.

Действия оператора при остановке технологического процесса:

Оператор отключает перемешивание и электрооборудования. При необходимости осуществляет выгрузку пульпы. Производит остановку центрифуги.

Вывод: при проектировании системы автоматизации процесса выделения металлического титана были определены технологические параметры процесса, подлежащие контролю, регулированию и сигнализации. На основании этого, разработана функциональная схема автоматизации и подобраны первичные преобразователи.

Автоматизация данного процесса позволяет уменьшить количество обслуживающего персонала, что в свою очередь, приведет к снижению себестоимости готовой продукции. Так как процесс выделения проводится в аппаратах периодического действия важным плюсом автоматизации является сведение времени переключения между аппаратами к минимуму.

Заключение

По результатам выполнения данного дипломного проекта можно сделать следующие выводы:

1 Представлена принципиальная технологическая схема выделения металлического титана из катодного осадка;

2 Предложено аппаратное оформление к представленной принципиальной технологической схеме;

3 Произведены расчёты материального и теплового балансов основных стадий, обозначенных в принципиальной технологической схеме;

4 Рассчитан и сконструирован основной аппарат: реактор – растворитель;

5 Рассмотрена строительная часть проекта, определены размеры здания и произведено планирование помещений и размещение оборудования;

6 Рассчитаны основные технико – экономические показатели проекта, подтверждающие эффективность и перспективность данного проекта;

7 Рассмотрены вопросы обеспечения безопасного ведения работ в спроектированном цеху;

8 Разработана функциональная схема автоматизации, упрощающая управление процессами, облегчающая труд и сокращающая численность обслуживающего персонала.

Список использованных источников

- 1 Карелин В.А. Статья / Карелин В.А., Страшко А.Н., Дубровин А.В.; т. 323, № 3 – г. Томск; «Известия Томского политехнического университета». – 2007. С. 82-87;
- 2 Касаткин А.Г. Основы процессы и аппараты химической технологии. Учеб. пособие для вузов / 7-е изд. перераб. и доп. – М.; «ГНИ химической литературы», 1991. – 832 с.;
- 3 Поисково – аналитический портал «Rudocs». Перемешивание [Электронный ресурс]: Конструктивное оформление процесса перемешивания. – 2011. – URL: <http://rudocs.exdat.com/docs/index-252796.html>, доступ свободный. – Яз. рус. Дата обращения 25.10.2015.;
- 4 Крайденко Р.И. Тепловые процессы в химической технологии. – г. Томск; «Изд-во Томского политехнического университета», 2010. – 96 с.;
- 5 Лащинский А. А. Основы конструирования и расчёта химической аппаратуры / Лащинский А.А., Толчинский А.Р. – М.; «Альянс», – 2008. – 752 с.;
- 6 Никольский Б. П. Основные свойства неорганических и органических соединений: Справочник / Б. П. Никольский, О. Н. Григоров, М. Е. Позин. – Л.: Издательство «Химия», 1971. – 1168 с.
- 7 Дытнерский Ю.И. Основные процессы и аппараты химической технологии. Учеб. пособие для вузов – М.: «Химия», 1991. – 493 с.;
- 8 Трепененков Р.И. Альбом чертежей конструкций и деталей промышленных зданий. 3-е изд. перераб. и доп.– М.; Стройиздат, 1980. – 284 с.;
- 9 Строй – справка [Электронный ресурс]: Отопление, водоснабжение, канализация. – 2014. – URL: <http://stroy-spravka.ru>, доступ свободный. - Яз. рус. Дата обращения 20.12.2015.;
- 10 Кузнецов А.Т. Основы строительного дела – М.; «Высшая школа», 1968. – 69 с.;

- 11 Макаревич В.А. Строительное проектирование химических предприятий. – М: Высшая школа, 1977. – 106 с;
- 12 Станиславчик Е.Н. Финансовый анализ инвестиционного проекта. – М.; «Ось-98», 2000. – 96 с.;
- 13 Криницына З.В. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение. Методическое пособие для написания ВКР специалистов тех вузов / Криницына З.В., Видяев И.Г. – г. Томск, «изд. Томского политехнического университета», 2014. – 73с.;
- 14 Конституция Российской Федерации (по состоянию на 15 ноября 2006 года) – Нск; «Сиб. унив. изд-во», 2006.;
- 15 Предельно допустимые концентрации химических веществ в окружающей среде: Справочник / Беспамятнов Г. П., Кротов Ю. А. – Л.; «Химия», 1985. – 528 с.;
- 16 Трудовой кодекс Российской Федерации (по состоянию на 15 ноября 2006 года) – Нск; «Сиб. унив. изд-во», 2006.;
- 17 Кушелев В.П. Основы техники безопасности на предприятиях химической промышленности. – М.; «Химия», 1970.;
- 18 Голубятников В.А. Автоматизация производственных процессов в химической промышленности / Голубятников В.А., Шувалов В.В. – М.; «Химия», 1985.– 350 с.;
- 19 Лапшенков Г.И. Автоматизация производственных процессов в химической промышленности / Лапшенков Г.И., Полоцкий Л.М. – М.; «Химия», 1988.– 287 с.;
- 20 Клюев А.С. Наладка средств автоматизации и автоматических систем регулирования – М.; «Энергоатомиздат», 1989. – 368 с.