

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

Инженерная школа ядерных технологий

Специальность: 18.05.02 Химическая технология материалов современной энергетики

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

ДИПЛОМНЫЙ ПРОЕКТ

Тема работы
Проект станции очистки сточных вод цеха гальванического производства производительностью 13 000 м ³ в год по сбросным водам

УДК 628.33:621.357.74.035.001.6

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0421	Супруненко Мария Владимировна		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент кафедры ХТРЭ	Передерин Ю.В.	к.т.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

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

По разделу «Социальная ответственность»

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

По разделу «Автоматизация процесса»

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

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Нормоконтролер	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
старший преподаватель кафедры ХТРЭ	Петлин И. В.	к.т.н.		
Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
зав. кафедрой ХТРЭ	Крайденко Р. И.	д.х.н.		

Томск – 2018 г.

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

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

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

Инженерная школа ядерных технологий
Направление подготовки (специальность): 18.05.02 Химическая технология материалов современной энергетики
Кафедра: «Химическая технология редких, рассеянных и радиоактивных элементов»

УТВЕРЖДАЮ:
Зав. кафедрой

(Подпись) (Дата) Р.И. Крайденко

**ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

дипломного проекта

Студенту:

Группа	ФИО
0421	Супруненко Марии Владимировне

Тема работы:

Проект станции очистки сточных вод цеха гальванического производства производительностью 13 000 м ³ в год по сбросным водам.	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	

Срок сдачи студентом выполненной работы:	30.12.2017
--	------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i>	Объект проектирования: станция очистки сточных вод гальванического производства цианистых цинковых покрытий. Производительность: 13 000 м ³ /год. Режим работы: непрерывный. Вид сырья: сточные воды. Раствор NaCN концентрацией 0,02 г/л объемным расходом 194 л/ч. Растворы H ₂ Cr ₂ O ₇ концентрацией от 0,02 до 80 г/л объемным расходом от 0,4 до 172 л/ч. Растворы K ₂ Cr ₂ O ₇ концентрацией от 0,03 до 70 г/л объемным расходом от 0,4 до 133 л/ч. Кислотно-щелочные растворы концентрацией от 0,01 до 250 г/л объемным расходом от 0,4 до 327 л/ч. Концентрация вредных веществ в очищенных сточных водах на выходе не должна превышать установленные ПДК.
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	1. Введение 2. Обзор литературы 2.1 Теория процесса 3. Расчеты и аналитика 3.1. Разработка и описание аппаратурно-технологической схемы. 3.2. Расчет материального баланса технологической схемы

	<p>3.3. Расчет теплового баланса технологической схемы 3.4. Расчет основного аппарата. 3.4.1. Расчет геометрии и габаритов основного аппарата 3.4.2. Механический расчет основного аппарата 3.4.3. Гидравлический расчет основного аппарата 3.4.4. Энергетический расчет основного аппарата 4. Результаты расчетов 5. План размещения оборудования 5.1. Подбор основного технологического оборудования 5.2. Расчет геометрии и габаритов оборудования 5.3. Энергетический расчет технологической схемы 5.4. План размещения оборудования 6. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение 7. Социальная ответственность 8. Автоматизация процесса 9. Заключение 10. Список использованных источников</p>
<p>Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<p>Сборочный чертеж основного аппарата А1 (ГОСТ 2.001-93...2.034-83). Аппаратурно-технологическая схема План размещения оборудования Презентация Power Point Presentation</p>

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы

Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Тухватулина Лилия Равильевна, доцент кафедры менеджмента, к.ф.н.
Социальная ответственность	Акимов Дмитрий Васильевич, ассистент кафедры ХТРЭ
Автоматизация процесса	Вильнина Анна Владимировна, доцент кафедры ЭАФУ, к.т.н.
Нормоконтролер	Петлин Илья Владимирович, старший преподаватель кафедры ХТРЭ, к.т.н.

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

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	16.10.2017
--	------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент кафедры ХТРЭ	Передерин Юрий Владимирович	к.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0421	Супруненко Мария Владимировна		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 108 с., 11 рис., 17 табл., 63 источника, 8 прил.

Ключевые слова: сточные воды, очистка, цианистое цинкование, окисление цианид-ионов, тяжелые металлы, реактор.

Объектом проектирования является станция очистки сточных вод гальванического производства.

Цель работы: разработать проект станции очистки сточных вод гальванического производства производительностью 13 000 м³ в год по сбросным водам.

В дипломном проекте приведен литературный обзор методов очистки сточных вод, разработана аппаратурно-технологическая схема очистки сточных вод гальванического производства цианистых цинковых покрытий, рассчитаны материальный, тепловой и энергетический балансы технологической схемы, разработан план размещения оборудования, рассчитан основной аппарат – реактор окисления цианид-ионов.

Основные характеристики основного аппарата: процесс окисления цианид-ионов осуществляется в вертикальном реакторе объемом 0,320 м³, внутренним диаметром 800 мм, высотой 1 894 мм.

Степень внедрения: проект находится на стадии разработки.

Область применения: химическая технология.

Экономическая эффективность проекта: стоимость очистки 1 литра сточных вод составляет 1,6 руб.

Определения, обозначения, сокращения, нормативные ссылки

Обозначения и сокращения

ПДК – предельно допустимая концентрация;

КПД – коэффициент полезного действия;

КИПиА – контрольно измерительные приборы и автоматика;

ТБ – техника безопасности;

ИТР – инженерно-технический работник;

МОП – младший обслуживающий персонал;

ОТ – охрана труда;

СИЗ – средства индивидуальной защиты;

ЭХО – электрохимическое обезжиривание;

pH – водородный показатель.

Нормативные ссылки

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

ГН 2.1.5.1315-03 Предельно-допустимые концентрации химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования.

ГОСТ 9.314-90 Единая система защиты от коррозии и старения. Вода для гальванического производства и схемы промывок. Общие требования

ГОСТ 14249-89 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность.

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

СП 56.13330.2011 Производственные здания.

ГОСТ 12.0.003-15 Система стандартов безопасности труда. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.

Оглавление

Введение.....	9
1 Обзор литературы	10
1.1 Общие положения очистки сточных вод.....	10
1.2 Обезвреживание циансодержащих растворов	13
1.3 Обезвреживание растворов, содержащих шестивалентный хром.....	17
1.4 Очистка сточных вод от ионов тяжелых металлов	22
1.5 Теория процесса	24
2 Расчеты и аналитика	27
2.1 Разработка и описание аппаратурно-технологической схемы.....	27
2.1.1 Объект и методы исследования.....	28
2.2 Расчет материального баланса технологической схемы.....	29
2.3 Расчет теплового баланса технологической схемы.....	32
2.4 Расчет основного аппарата.....	35
2.4.1 Расчет геометрии и габаритов основного аппарата	35
2.4.2 Механический расчет основного аппарата	46
2.4.3 Гидравлический расчет основного аппарата	55
2.4.4 Энергетический расчет основного аппарата.....	59
3 Результаты расчетов.....	62
4 План размещения оборудования	63
4.1 Подбор основного технологического оборудования	63
4.2 Расчет геометрии и габаритов оборудования	67
4.3 Энергетический расчет технологической схемы.....	68
4.4 План размещения оборудования	69
5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	70
6 Социальная ответственность	84
7 Автоматизация процесса	95
Заключение	102
Список использованных источников	103

Приложение А	109
Приложение Б	110
Приложение В.....	130
Приложение Г	135
Приложение Д.....	136
Приложение Е.....	142
Приложение Ж.....	146
Приложение З	147

Графический материал на отдельных листах:

ДП ФЮРА.061511.001 ТС	Аппаратурно-технологическая схема
ДП ФЮРА.061511.002 СБ	Реактор окисления цианид-ионов
ДП ФЮРА.061511.003 ТО	План размещения оборудования
ДП ФЮРА.061511.002 СП	Спецификация

Введение

Загрязнения промышленных стоков гальванических производств по санитарно-токсикологическому показателю относятся к высокоопасным и опасным веществам. Для гальванохимических производства необходимо потребление большого количества тяжелых и токсичных металлов. Ионы токсичных металлов, поступая в окружающую среду, наносят ущерб здоровью людей через питьевую воду и продукты питания, а также непосредственный ущерб окружающей флоре и фауне. В зоне риска находятся сельскохозяйственные и рыболовецкие предприятия.

Стратегически в национальном хозяйстве Российской Федерации экологически безопасное развитие связано с переходом от ресурсорасточительных, энергоемких производств к ресурсосберегающим малоотходным и безотходным производственным процессам, исключаящим загрязнение окружающей природной среды.

Представляемый проект имеет реальное значение для ФГУП ПО «Север», на котором в настоящее время разрабатывается участок цианистого цинкования деталей, требующий организации станции очистки сточных вод.

1 Обзор литературы

1.1 Общие положения очистки сточных вод

В настоящее время основное загрязняющее влияние на поверхностные водные объекты оказывают промышленность и жилищно-коммунальное хозяйство. Более 90 % от общей массы загрязняющих веществ, поступающих в водоемы со сточными водами, приходится на долю предприятий химической и нефтехимической отрасли [1].

Предприятия, использующие гальванические технологические процессы, являются вредными для окружающей среды. Несмотря на то, что на производствах устанавливаются очистные сооружения, сброс вредных веществ со сточными водами довольно высок.

Основные методы очистки промышленных сточных вод делятся на механические, физико-химические, биологические.

1.1.1 Механическая очистка

В настоящее время механическую очистку как самостоятельный метод применяют редко. В основном же механическую очистку сточных вод применяют преимущественно как предварительную. Задачи механической очистки заключаются в подготовке воды к физико-химической и биологической очисткам. Механическую очистку проводят для выделения из сточной воды находящихся в ней нерастворенных грубодисперсных примесей путем процеживания, отстаивания и фильтрования. Для задержания крупных загрязнений и частично взвешенных веществ применяют процеживание воды через различные решетки и сита. Для выделения из сточной воды взвешенных веществ, имеющих большую или меньшую плотность по отношению к плотности воды, используют отстаивание. При этом тяжелые частицы оседают, а легкие всплывают. Фильтрование применяют для задержания более мелких частиц. При прохождении сточных вод через фильтрующий материал на его

поверхности или в поровом пространстве задерживается выделенная из сточной воды взвесь.

При неравномерном образовании производственных сточных вод перед подачей на очистные сооружения их усредняют по расходу и концентрации в усреднителях различной конструкции. Метод отстаивания используется в комбинированных сооружениях для очистки небольших количеств сточной воды – септиках, двухъярусных отстойниках и осветлителях [2].

1.1.2 Физико-химическая очистка

Физико-химическая очистка заключается в том, что в очищаемую воду вводят какое-либо вещество-реагент (коагулянт или флокулянт). Вступая в реакцию с находящимися в воде примесями, это вещество способствует более полному выделению нерастворимых примесей, коллоидов и части растворимых соединений. При этом уменьшается концентрация вредных веществ в сточных водах, растворимые соединения переходят в нерастворимые или растворимые, но безвредные, происходит нейтрализация сточных вод. Физико-химическая очистка дает возможность резко интенсифицировать механическую очистку сточных вод. В зависимости от необходимой степени очистки сточных вод физико-химическая очистка может быть окончательной или второй ступенью очистки перед биологической [3].

1.1.3 Биологическая очистка

Биологическая очистка основана на жизнедеятельности микроорганизмов, которые способствуют окислению или восстановлению органических веществ, находящихся в сточных водах в виде тонких суспензий, коллоидов, в растворе и являются для микроорганизмов источником питания, в результате чего и происходит очистка сточных вод от загрязнения. При всех методах очистки сточных вод образуется осадок из нерастворимых веществ в первичных отстойниках, а при биологической очистке во вторичных отстойниках образуется еще больше осадка. Для уменьшения влажности осадка сточных вод и его объема служат иловые пруды и площадки. Для

обезвоживания осадка применяют различные механические приемы: вакуум-фильтрацию, фильтропрессование, центрифугирование, а также термические сушку и сжигание [4].

1.1.4 Направления уменьшения экологической опасности

Направления уменьшения экологической опасности гальванохимических процессов, уменьшения объемов стоков и концентрации вредных веществ:

- рациональное водопользование, в частности, уменьшение расхода воды на промывку деталей после технологических ванн в гальваническом процессе (использование двухкаскадных промывок);
- поддержание работоспособности технологических растворов с целью уменьшения сбросов отработанных растворов;
- рекуперация ценных токсичных компонентов из промывных вод;
- разделение потоков сточных вод по видам загрязнений и предварительная очистка от отдельных видов загрязнений;
- применение более совершенных технологий очистки и оборудования [5].

В частном случае для очистки сточных вод цеха цианистых цинковых покрытий характерны следующие проблемы: обезвреживание цианосодержащих растворов, обезвреживание растворов, содержащих шестивалентный хром, обезвреживание растворов, содержащих ионы токсичных металлов (цинк и медь), нейтрализация кислотно-щелочных растворов.

1.2 Обезвреживание цианосодержащих растворов

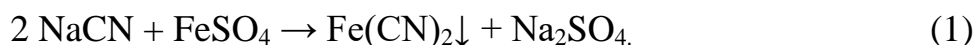
Для обезвреживания цианидов используют осаждение в виде устойчивых комплексных соединений, разложение окислением, обработку сильными восстановителями. Отдувку цианистого водорода при взаимодействии растворов с сильными кислотами в настоящее время практически не применяют [6].

Обезвреживание цианосодержащих растворов основано на окислении цианид-ионов в щелочной среде, обычно при $\text{pH} = 10,5-12$. В качестве окислителей могут использоваться различные соединения: содержащие активный хлор (хлорная известь, гипохлорит кальция, гипохлорит натрия, жидкий хлор), озон, перманганат калия, перекись водорода [6]. Активность вещества как окислителя определяется величиной окислительного потенциала. Из всех известных в природе окислителей первое место занимает фтор, который, однако, из-за высокой агрессивности не может быть использован на практике. Для других веществ величина окислительного потенциала равна: для озона – 2,07 В; для хлора – 0,94 В; для пероксида водорода – 0,68 В; для перманганата калия – 0,59 В [7].

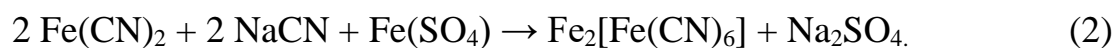
1.2.1 Обезвреживание цианосодержащих растворов железосульфатным методом

Железо-сульфатный метод обезвреживания цианистых стоков основан на переводе токсичных ионов циана в малотоксичные комплексные ионы $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{4+}$ в слабощелочной среде.

При $\text{pH} = 7$ и без подогрева образуется значительное количество токсичного осадка простого цианида железа:



При дополнительном введении в обрабатываемый сток FeSO_4 цианид железа взаимодействует с непрореагировавшими цианидами с образованием нетоксичной берлинской лазури:



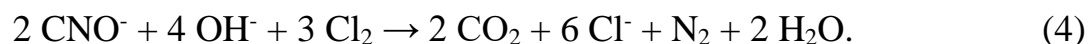
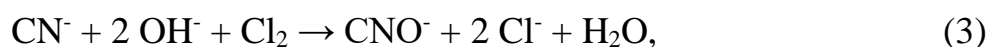
Количество образующегося осадка при обработке стоков железным купоросом составляет 20-25 % от первоначального объёма стока. Осадок может обладать токсичными свойствами из-за наличия в нем захваченной части сточной воды с остаточными цианидами.

В растворах гексацианоферратов практически отсутствуют свободные цианиды, это обусловлено большой прочностью комплексных соединений. При обработке цианистых растворов солями железа (II) в средах, близких к нейтральным, образуются малорастворимые гексацианоферраты железа, которые удаляются отстаиванием. Этот метод не находит широкого применения, так как не исключает образования свободных цианидов при контакте осадков с кислотами [7].

1.2.2 Окисление цианосодержащих растворов хлором и его соединениями

Обезвреживание сточных вод хлором или его соединениями – один из самых распространенных способов очистки от ядовитых цианидов, а также от таких органических и неорганических соединений, как сероводород, гидросульфит, сульфид, метилмеркаптан и др. Источниками «активного» хлора могут быть также хлорат кальция, гипохлориды, хлораты, диоксид хлора.

Цианиды можно окислить до элементного азота и диоксида углерода по уравнениям:

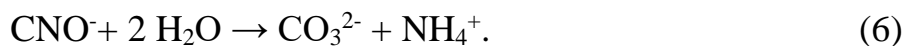


При снижении pH возможно протекание реакции прямого хлорирования цианида с образованием токсичного хлорциана:

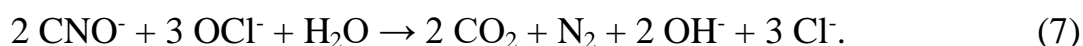


Более надежным и экономически целесообразным методом является окисление цианидов гипохлоритами в щелочной среде (pH = 10-11). В качестве реагента, содержащего ион гипохлорита OCl^- , служат хлорная известь,

гипохлориты кальция или натрия. При окислении цианидов «активным» хлором процесс можно проводить в одну стадию до получения цианатов:



Скорость гидролиза зависит от pH среды. При pH = 5,3 за сутки гидролизуется около 80 % цианатов. В двухстадийном процессе цианиды окисляются до N₂ и CO₂. На первой стадии процесс протекает по уравнению реакции (3) окисления до получения цианатов. На второй стадии вводят дополнительное количество окислителя, и реакция протекает по уравнению:



При обезвреживании сточных вод обычно применяется 5 % рабочий раствор реагента (по «активному» хлору). При использовании растворов гипохлоритов необходимо учитывать, что в процессе транспортировки и хранения они теряют свою активность, поэтому эффективнее получать эти препараты на месте применения [6].

1.2.3 Окисление цианосодержащих растворов озоном

Окисление озоном позволяет одновременно обеспечить обесцвечивание воды, устранение привкусов и запахов и обеззараживание. При окислении цианидов протекают следующие реакции:



Расход озона на разрушение загрязняющих веществ в сточных водах веществ зависит от многих факторов: pH водной среды, концентрации вредных веществ, концентрации озона, способа смешения, продолжительности контакта озono-воздушной смеси с обрабатываемыми сточными водами и др. При применении катализаторов увеличиваются скорости реакций окисления озоном. Процесс озонирования можно интенсифицировать совместным воздействием озона и ультразвука или озона ультрафиолетового излучения.

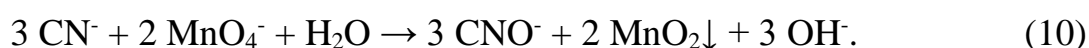
Озон и его водные растворы чрезвычайно коррозионны: они разрушают сталь, чугун, медь резину, эбонит. Поэтому все элементы озонаторных

установок и трубопроводы, контактирующие с озоном и его водными растворами, изготавливают из нержавеющей стали и алюминия.

Для обработки цианидов озоном необходимо громоздкое и энергоемкое оборудование, поэтому этот метод эффективен только при больших объемах сточных цианистых вод [8].

1.2.4 Окисление цианосодержащих растворов перманганатом калия

Окисление цианидов перманганатом калия протекает по реакциям:



Окисление цианидов перманганатом калия целесообразно осуществлять в следующих случаях: при наличии отходов его на производстве; при использовании установок малой производительности и размещении их в стесненных условиях; при аварийных ситуациях в гальванических цехах. Основные преимущества данного метода следующие: высокая степень очистки вод любой концентрации цианидов; возможность повторного использования очищенной воды; незначительное количество осадка. Недостатками являются высокая стоимость перманганата калия и необходимость удаления из воды токсичного MnO_2 .

К окислительным методам относится также электрохимическая обработка с нерастворимыми анодами. При прохождении электрического тока на аноде выделяются кислород и хлор, которые окисляют цианиды. Поскольку концентрация цианидов в стоках превышает содержание хлоридов, последние вводят дополнительно в виде хлорида натрия [7].

1.2.5 Окисление цианосодержащих растворов пероксидом водорода

В случае очистки стоков процесса цианистого цинкования, оптимальным методом является обработка перекисью водорода с добавлением сульфата меди в качестве катализатора. Преимуществами применения в качестве окислителя перекиси водорода являются: обезвреживание цианидов до ПДК; самопроизвольное разложение избытка перекиси в сточной воде; стабильность солесодержания обрабатываемого стока; протекание реакции без

образования токсичных промежуточных соединений. Обработка стоков раствором перекиси водорода осуществляется на установках периодического действия. Трубопроводы, резервуары и другое оборудование, находящееся в длительном контакте с перекисью водорода, рекомендуется изготавливать из поливинилхлорида или фторопласта; резервуары для хранения – из чистого алюминия, полиэфирных пластиков или полиэтилена [7].

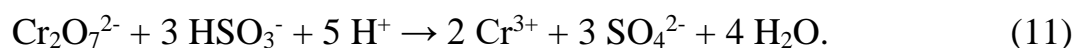
В проекте станции очистки сточных вод от цианид-ионов выбран метод обезвреживания цианистых растворов окислением пероксидом водорода.

1.3 Обезвреживание растворов, содержащих шестивалентный хром

1.3.1 Реагентный метод обезвреживания хромсодержащих растворов

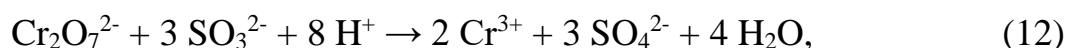
В основе реагентного обезвреживания сточных вод, содержащих соединения хрома (VI), является восстановление хрома до трехвалентного состояния и осаждение трехвалентного хрома в виде гидроксида. В качестве реагентов-восстановителей наибольшее применение получили натриевые соли сернистой кислоты и дитионит натрия. Возможно также применение сернистого газа, пероксида водорода (в кислой среде), гидразина (в нейтральной или слабощелочной среде) [6].

На практике для восстановления наиболее часто используют растворы гидросульфита натрия:

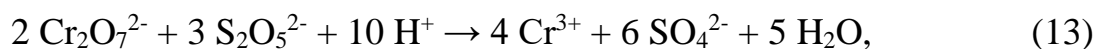


Реакция протекает быстро при pH = 3-4 и избытке серной кислоты.

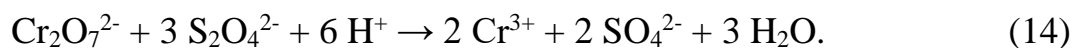
Также применяются растворы сульфита натрия:



пиросульфита натрия:



дитионита натрия:

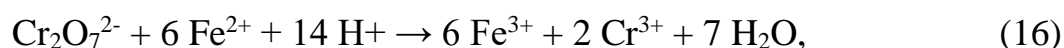


Для осаждения трехвалентного хрома применяют щелочные реагенты $\text{Ca}(\text{OH})_2$, NaOH и др. (оптимальное значение pH для осаждения 8-9,5):

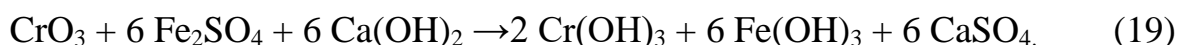


Передозирование восстановителя недопустимо; перерасход реагента приводит к образованию комплексных солей трехвалентного хрома и серной кислоты, которые не полностью разрушаются при последующей нейтрализации сточных вод.

В качестве реагентов-восстановителей можно также использовать отходы металлического железа. В отличие от солей сернистой кислоты восстановление Cr^{6+} до Cr^{3+} солями двухвалентного железа протекает с достаточно высокой скоростью не только в кислой, но и в нейтральной и щелочной средах по реакциям:



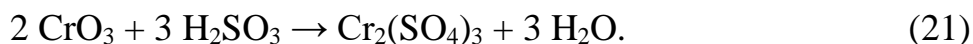
В случае применения сульфата железа (II) в качестве реагента-восстановителя предварительное подкисление сточных вод не требуется, а для полного восстановления Cr^{6+} до Cr^{3+} необходим лишь незначительный избыток реагента независимо от исходной концентрации Cr^{6+} в сточных водах и величины pH. Процесс можно проводить как в кислой, так и в щелочной среде:



Недостатком использования сульфата железа по сравнению с солями сернистой кислоты является более чем 4-кратное увеличение объема образующихся при последующей нейтрализации твердых осадков, поскольку на массовую часть осадка гидроксида хрома дополнительно образуется 3,12 массовых частей осадка гидроксида железа (III).

В качестве реагентов для восстановления Cr^{6+} до Cr^{3+} можно также применять пероксид водорода (в кислой среде), сернистый газ, гидразин (в нейтральной или слабощелочной среде).

Восстановление диоксидом серы происходит по схеме:

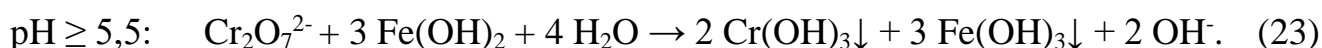


Возможно также осаждение Cr(VI) в виде нерастворимых соединений без предварительного восстановления его до Cr³⁺, например, ацетатом бария. В этом случае Cr(VI) осаждается в виде хромата бария. Достоинством этого метода является возможность одновременной очистки сточных вод и от ионов SO₄²⁻ [7].

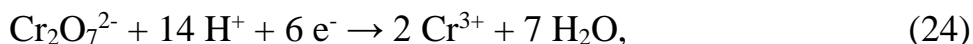
1.3.2 Электрокоагуляционный метод обезвреживания хромсодержащих растворов

Электрокоагуляция как метод превращения примесей в грубодисперсное состояние основывается на множестве физико-химических процессов, протекающих в жидкости под воздействием электрического тока:

При электрокоагуляционном обезвреживании в результате электролитического растворения стальных анодов при pH > 2 образуются ионы Fe²⁺. Эти ионы, а также гидроксид железа (II) способствуют химическому восстановлению шестивалентного хрома до трехвалентного:



Некоторое количество хромат- и дихромат-ионов восстанавливается до ионов трехвалентного хрома в результате катодных электрохимических процессов:



При электрохимической обработке сточных вод происходит их подщелачивание, что способствует коагуляции гидроксидов железа (II) и (III) и хрома (III). Они образуют хлопья, на которых происходит адсорбция других примесей, содержащихся в сточных водах. Прирост величины pH может составлять 1-4 единицы [9].

1.3.3 Гальванокоагуляционный метод обезвреживания хромсодержащих растворов

В основе принципа гальванокоагуляции лежат те же физико-химические процессы, которые составляют сущность электрокоагуляции. Отличие данного метода от электрокоагуляции заключается в способе введения в обрабатываемый сток ионов железа, а также в отсутствии электростатической (поляризационной) коагуляции, возникающей при наложении электрического поля.

При гальванокоагуляции обеспечивается окисление кислородом воздуха двухвалентного железа до трехвалентного по реакции:



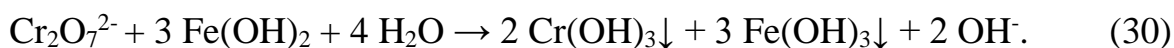
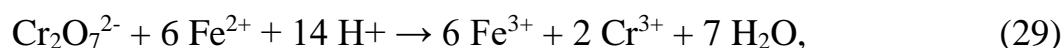
В процессе осаждения гидроксида железа (III) происходит уплотнение осадка амфотерного $\text{Fe}(\text{OH})_3$ в гематит $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$:



В свою очередь соединения железа (III) при контакте с железной стружкой восстанавливаются до соединений железа (II), например:



Таким образом, в обрабатываемой сточной воде образуются соединения железа (II) и (III), причем соединения железа (II) способствуют восстановлению хрома (VI) до хрома (III) по реакциям:

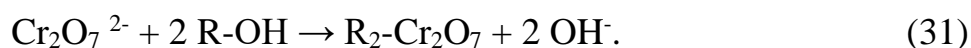


При гальванокоагуляционной очистке расход железа составляет 0,2-1,0 кг на 1 м³ очищаемых стоков в зависимости от pH обрабатываемой воды. В результате очистки образуется 0,4-1,0 кг железистого отхода на 1 м³ очищаемых сточных вод [10].

1.3.4 Ионообменный метод обезвреживания хромсодержащих растворов

При ионообменной очистке из сточных вод гальванических производств удаляют соли тяжелых, щелочных и щелочноземельных металлов, свободные минеральные кислоты и щелочи, а также некоторые органические вещества.

В кислой среде шестивалентный хром находится в виде дихромат-ионов, следовательно, при извлечении с помощью ионообменных смол, будет сорбироваться на анионитах по реакции:



Емкость анионитов по хрому не зависит от величины рН в пределах от 1 до 6 и значительно снижается с увеличением рН более 6. Скорость прохождения раствора через ионообменную колонну принимают равной 10-15 м/ч.

Ионообменный метод применим для обезвреживания хромсодержащих сточных вод с концентрацией шестивалентного хрома до 300 мг/л. Его рекомендуется применять для очистки сточных вод с солесодержанием до 2-3 г/л.

Регенерацию сильноосновных анионитов проводят 8-10 %-ным раствором гидроксида натрия (калия). Элюаты, содержащие 40-50 г/л шестивалентного хрома, могут рекуперироваться. Скорость прохождения раствора при регенерации составляет 1,0-1,5 м/ч.

Перед применением ионообменной очистки необходимо тщательное удаление органических примесей. Существенным преимуществом данного метода очистки является возможность рекуперации дихромат-ионов, а также меньшее количество отходов по сравнению с другими методами [11].

Основными преимуществами ионообменного метода являются возможность проведения процесса в широком интервале значений рН, минимальное количество реагентов для очистки стоков, отсутствие токсичных осадков или шламов, содержащих хром. В проекте станции очистки сточных вод от дихромат-ионов выбран метод ионного обмена.

1.4 Очистка сточных вод от ионов тяжелых металлов

1.4.1 Реагентная очистка сточных вод от ионов тяжелых металлов

Очистка сточных вод от ионов тяжелых металлов осуществляется путем перевода ионов тяжелых металлов в малорастворимые соединения при нейтрализации сточных вод с помощью различных щелочных реагентов. В таблице 1 представлены значения рН осаждения гидроксидов металлов.

При нейтрализации сточных вод известковым молоком, содержащим значительное количество известняка, а также растворами соды некоторые ионы тяжелых металлов осаждаются в виде основных карбонатов. Последние менее растворимы в воде, чем соответствующие гидроксиды, поэтому при образовании основных карбонатов происходит более полный переход ионов тяжелых металлов в малорастворимую форму. Кроме того, основные карбонаты большинства металлов начинают осаждаться при значительно более низких значениях рН, чем соответствующие гидроксиды.

Таблица 1 – Значения величины рН осаждения гидроксидов металлов и остаточная концентрация ионов металлов

Формула гидроксида	Величина рН начала осаждения	Величина рН полного осаждения	Величина рН начала растворения	Остаточная концентрация иона металла, наблюдаемая на практике при рН 8,5-9,0, мг/л
Zn(OH) ₂	6,4	8,0	10,5	0,1-0,05
Cu(OH) ₂	5,5	8,0-10,0	-	0,1-0,15

Основное достоинство реагентного метода очистки гальванических стоков – низкая чувствительность к исходному содержанию загрязнений, а основной недостаток – высокое остаточное солесодержание очищенной воды. Это вызывает необходимость доочистки. В отечественной практике реагентный метод получил наибольшее распространение для обезвреживания сточных вод гальванических цехов [12].

1.4.2 Очистка сточных вод от ионов тяжелых металлов электрохимическими методами

Одним из основных методов очистки сточных вод является электрохимический метод, включающий электрофлотацию и электрокоагуляцию (гальванокоагуляцию). Электрокоагуляция (гальванокоагуляция) – технологический метод, который до настоящего времени используется на машиностроительных и металлообрабатывающих предприятиях для очистки сточных вод гальванического производства.

Катодное восстановление применяют для удаления из сточных вод ионов металлов с получением осадков, для перевода загрязняющего компонента в менее токсичные соединения или в легко выводимую из воды форму (осадок, газ). Его можно использовать для очистки сточных вод от ионов тяжелых металлов Pb^{2+} , Sn^{2+} , Hg^{2+} , Cu^{2+} , As^{2+} , C^{6+} . Катодное восстановление металлов происходит по схеме:



При этом металлы осаждаются на катоде и могут быть рекуперированы [13].

В настоящее время на очистных сооружениях промышленных предприятий активно внедряются электрофлотационные модули. Электрофлотация – метод очистки сточных и промывных вод, технологических растворов гальванического производства от загрязнений в виде взвешенных веществ, фосфатов и гидроксидов металлов, суспензий, смолистых веществ, эмульгированных веществ, нефтепродуктов, индустриальных масел, жиров и поверхностно-активных веществ. Для интенсификации процесса электрофлотации и повышения эффективности очистки, обычно, существует предшествующая стадия нейтрализации кислых или щелочных компонентов, перевод ионов металлов в труднорастворимые соединения, т.е. образование твёрдой фазы, флокуляция и коагуляция [14].

1.5 Теория процесса

1.5.1 Теория процесса окисления цианид-ионов

Окисление цианид-ионов пероксидом водорода в присутствии катализатора сульфата меди происходит в щелочной среде по реакции:



Оптимальное значение pH 10-11. Продолжительность процесса окисления простых цианидов составляет 30 минут. Необходимое соотношение пероксида водорода составляет 5,5-6,5 г к 1 г цианида [6].

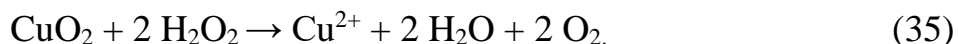
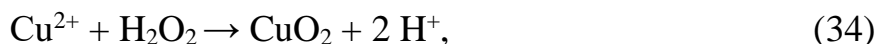
Тепловой эффект данной реакции равен минус 3 752 кДж/моль, энергия Гиббса – минус 3 756 кДж/моль.

Тепловой эффект имеет отрицательное значение, значит, тепло выделяется в ходе реакции и подвод дополнительного тепла не нужен.

Энергия Гиббса также имеет отрицательное значение, следовательно, реакция протекает в прямом направлении.

ОН⁻-ионы оказывают ускоряющее действие процесса разложения пероксида водорода, скорость разложения пероксида водорода в щелочном растворе зависит от концентрации гидроксид-ионов [15].

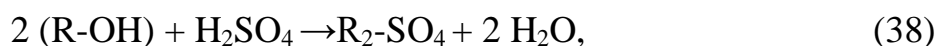
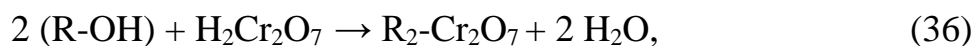
Скорость каталитического разложения H₂O₂ медными солями пропорциональна количеству пероксида меди, образующейся в качестве промежуточного вещества в соответствии с уравнениями:



Пероксид меди является нерастворимым соединением, то есть катализ имеет гетерогенный характер [16, 17].

1.5.2 Теория процесса ионообменного извлечения дихромат-ионов

Состав хромсодержащего раствора представлен соединениями хрома (хромовым ангидридом, при взаимодействии с водой образующим хромовую кислоту, дихроматом калия), серной кислоты и хлоридом натрия. На анионообменной смоле АВ-17-8 в OH^- форме будут сорбироваться дихромат-, сульфат- и хлорид-ионы по следующим уравнениям:

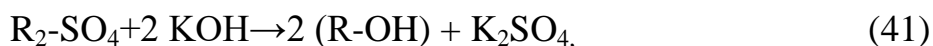
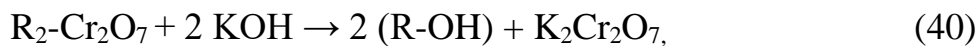


Основными стадиями, характерными для ионообменного процесса, являются следующие:

- 1) перенос ионов из раствора к внешней поверхности зерна ионита;
- 2) перенос ионов внутри зерна к ионогенным функциональным группам;
- 3) химическая реакция ионного обмена;
- 4) перенос вытесняемых противоионов функциональных групп к поверхности зерна ионита;
- 5) перенос вытесняемых ионов от поверхности ионита в раствор.

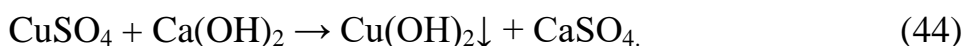
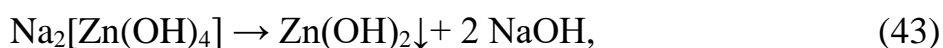
При исследовании кинетики ионного обмена обычно используется принцип лимитирующей стадии, в соответствии с которым общая скорость гетерогенного процесса определяется скоростью наиболее медленной стадии. Поскольку стадия реакции ионного обмена протекает весьма быстро, при исследовании кинетики ионного обмена обычно разделяют стадии массоотдачи (стадии 1, 5) и массопроводности (стадии 2, 4). Внешний перенос массы обычно характерен при низком содержании солей в воде, внутридиффузионный перенос – для концентрированных растворов [18]. Соответственно, для стадии сорбции лимитирующими стадиями будут являться стадии 1 и 5 – массоотдачи, а для стадии десорбции – стадии 2 и 4 – массопроводности.

Десорбция дихромат ионов осуществляется 10 %-м раствором гидроксида калия, в результате в десорбате содержится дихромат калия, а смола восстанавливается в гидроксидную форму по следующим уравнениям реакций:



1.5.3 Теория процесса осаждения гидроксидов цинка и меди

Осаждение гидроксидов цинка и меди гидроксидом кальция происходит по следующим уравнениям:



Остаточные концентрации ионов металлов приведены в таблице 1.

Тепловой эффект данной реакции равен минус 122 кДж/моль, энергия Гиббса: минус 120 кДж/моль.

Тепловой эффект имеет отрицательное значение, значит, тепло выделяется в ходе реакции и подвод дополнительного тепла не нужен.

Энергия Гиббса также имеет отрицательное значение, следовательно, реакция протекает в прямом направлении.

Для получения крупнокристаллических осадков следует создавать условия преимущественного протекания роста кристаллов, одновременно снижая скорость образования новых центров кристаллизации. Число образующихся в единице объема новых центров кристаллизации пропорционально относительному пресыщению раствора:

$$N = K \cdot \left(\frac{C_1}{C_2} - 1 \right), \quad (45)$$

где C_1 – фактическая концентрация осаждаемого вещества в растворе до начала кристаллизации, то есть, концентрация пересыщенного раствора;

C_2 – концентрация насыщенного раствора осаждаемого вещества [19].

2.1.1 Объект и методы исследования

Объектом исследования является технология очистки сточных вод гальванического производства от цианистых, хромсодержащих соединений и ионов цинка и меди. Материальный баланс рассчитан на основании закона сохранения масс, являющегося частным случаем закона сохранения энергии. Тепловой баланс рассчитан на основании закона Гесса и его следствий.

5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

5.1 Обоснование необходимости станции очистки сточных вод

Качество сбросных сточных вод строго проверяется группами санитарно-токсикологического контроля. При превышении концентрации вредных веществ в сточных водах городской водоканал взимает штрафные санкции на основании результатов протокола анализа пробы. Проект станции нейтрализации и очистки сточных вод цеха гальванического производства имеет значение для экологической ситуации и репутации предприятия в целом. Для рассмотрения проекта выбран SWOT-анализ.

Первый этап заключается в описании сильных и слабых сторон проекта, в выявлении возможностей и угроз для реализации проекта, которые проявились или могут появиться в его внешней среде. Матрица SWOT-анализа представлена в таблице Д.1 приложения Д.

Второй этап состоит в выявлении соответствия сильных и слабых сторон научно-исследовательского проекта внешним условиям окружающей среды, представлен в таблицах Д.2-Д.5 приложения Д.

На третьем этапе составляется таблица результатов SWOT-анализа для анализа взаимодействия сильных и слабых сторон проекта и оказывающих на него влияние внешних возможностей и угроз. SWOT-анализ представлен в таблице 10.

Таблица 10 – SWOT-анализ

	Возможности	Угрозы
Сильные стороны	<ol style="list-style-type: none"> 1. Увеличение экологичности производства приведет к повышению конкурентоспособности, увеличению рекламы, и, возможно, поддержки проекта со стороны государства. 2. Повышение экономичности за счет регенерации реагентов приведет дополнительному просу на продукцию гальванического производства. 3. Автоматизация производства повлияет на увеличение стоимости конкурентных разработок. 4. Соответствие производимой продукции установленным нормам и требованиям даст гарант поддержки со стороны государства. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Изменение норм качества сбросных вод может поставить под угрозу проект, так как он разработан для существующих норм. 2. Экономический спад сведет на нет пользу от регенерации реагентов. 3. Создание новых, более производительных технологий, что приведет к моральному старению оборудования. 4. Продукция конкурентов также может соответствовать установленным нормам и требованиям.
Слабые стороны	<ol style="list-style-type: none"> 1. Увеличение себестоимости продукции снизит конкурентоспособность предприятия. 2. Сложность осуществления проекта, наличие нестандартизированного оборудования и дороговизна осуществления проекта повлияет на увеличение стоимости конкурентных разработок, однако дороговизна проекта может отпугнуть инвесторов. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Увеличение себестоимости продукции повлияет на уменьшение финансирования проекта. 2. Экономический спад одновременно со сложностью осуществления проекта могут заморозить исполнение проекта. 3. Дороговизна и сложность разрабатываемого проекта может быть не оправдана при создании новых совершенных технологий.

5.2 Расчет капитальных затрат на строительство

Для расположения оборудования станции очистки сточных вод гальванического производства необходимо здание площадью 756 м². Стоимость материалов и возведения здания представлена в таблице Д.6 приложения Д. Общая стоимость составляет 11 904 767 руб.

Для обслуживания здания необходимы санитарно-технические работы, стоимость которых рассчитывается как процент затраты на постройку здания. Затраты на санитарно-технические работы приведены в таблице Д.7 приложения Д. Общая стоимость составляет 2 142 858 руб.

Стоимость возведения здания с учетом стоимости санитарно-технических работ: $11\,904\,767 + 2\,142\,858 = 14\,047\,625$ руб.

5.3 Расчет стоимости оборудования

Стоимость оборудования приведена в таблице Д.8 приложения Д. Общая стоимость оборудования составляет 7 924 021 руб.

5.4 Расходы на содержание и эксплуатацию оборудования

Для содержания оборудования необходимы транспортные, монтажные и специальные работы, стоимость которых рассчитывается как процент стоимости оборудования. Стоимости работ приведены в таблице 11.

Таблица 11 – Стоимость обслуживающих работ для оборудования

Наименование затрат	Процент от затраты на постройку здания, %	Сумма, руб
Транспортные работы	8	633 922
Монтажные работы	20	1 584 804
Специальные работы	10	792 402
Итого:	38	3 011 128

Стоимость оборудования с учетом стоимости необходимых работ:
 $7\,924\,021 + 3\,011\,128 = 10\,935\,149$ руб.

Расчет затрат на производство

При эксплуатации здания и оборудования необходимо учесть затраты на ремонт, содержание и амортизационные отчисления, стоимость которых рассчитывается как процент затрат на здание и оборудование. Производственные затраты приведены в таблице 12.

Таблица 12 – Стоимость производственных затрат

Наименование затрат	Процент от затраты на здание/оборудование, %	Сумма, руб
Ремонт здания	2	280 953
Содержание здания	5	702 381
Амортизационные отчисления	5	702 381
Ремонт оборудования	15	1 640 272
Содержание оборудования	5	546 757
Амортизация оборудования	10	1 093 515
Итого:	38	4 966 259

5.5 Расчет технологических затрат

Расчет затрат на электроэнергию:

$$Z_{\text{эн.}} = T_{\text{э}} \cdot N_{\text{т}} \cdot T_{\text{р.об}}, \quad (101)$$

где $Z_{\text{эн}}$ – затраты на электроэнергию, руб/год;

$T_{\text{э}}$ – стоимость 1 кВт·ч электроэнергии, $T_{\text{э}} = 3,25$ руб.;

$N_{\text{т}}$ – суммарная мощность, кВт;

$T_{\text{р.об.}}$ – время работы оборудования в год, ч.

Суммарная потребляемая мощность за год рассчитана в п. 5.3 и составляет 283 380 кВт/год. Тогда годовые затраты на электроэнергию составят:

$$Z_{\text{эн.}} = 3,25 \cdot 283\,380 = 920\,985 \text{ руб/год}$$

Расчет затрат на воду:

Для приготовления реагентов и промывки ионообменных колонн используется вода III категории, которая подготавливается на участке водоподготовки, расположенном в гальваническом цеху. Для уборки помещений и бытовых нужд используется водопроводная вода. Расход воды 1 душевой сетки в смену составляет 0,5 м³ холодной воды и 0,23 м³ горячей воды. Количество смен в год: 1 095 смен, количество человек в смену: 2 человека. Расход воды для обслуживания цеха: 0,045 м³ холодной воды и 0,024 м³ горячей воды в сутки [40]. Общий расход холодной воды составляет 1 112 м³/год, горячей – 513 м³/год.

$$Z_{\text{вод.}} = T_{\text{в.}}^{\text{г}} \cdot V^{\text{г}} + T_{\text{в.}}^{\text{х}} \cdot V^{\text{х}}, \quad (102)$$

где $Z_{\text{вод.}}$ – затраты на воду, руб/год;

$T_{\text{в.}}^{\text{г}}$ – стоимость 1 м³ горячей воды, руб.;

$V^{\text{г}}$ – годовой расход холодной воды, м³/год;

$T_{\text{в.}}^{\text{х}}$ – стоимость 1 м³ горячей воды, руб.;

$V^{\text{х}}$ – годовой расход холодной воды, м³/год.

$$Z_{\text{вод.}} = 34,14 \cdot 1\,112 + 95,90 \cdot 513 = 87\,160 \text{ руб/год}$$

Расчет затрат на освещение:

$$Z_{\text{осв.}} = \left(\frac{15 \cdot S_{\text{п}} \cdot M \cdot T_{\text{р.об.}}}{1000} \right) \cdot T_{\text{э}}, \quad (103)$$

где $Z_{\text{осв.}}$ – затраты на освещение, руб/год;

15 – количество Ватт на 1 м² пола;

$S_{\text{п}}$ – площадь пола, $S_{\text{п}} = 756$ м²;

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

$T_{\text{э}}$ – стоимость 1 кВт·ч электроэнергии, $T_{\text{э}} = 3,25$ руб.;

$T_{\text{р.об.}}$ – число дней работы производства в году, (365 дней).

$$Z_{\text{осв.}} = (15 \cdot 756 \cdot 24 \cdot 365 / 1000) \cdot 3,25 = 322\,850 \text{ руб/год.}$$

Расчет затрат на вентиляцию:

$$Z_{\text{вент.}} = P \cdot T_{\text{кал}} \cdot T_{\text{э}}, \quad (104)$$

где $Z_{\text{вент.}}$ – затраты на освещение, руб/год;

P – мощность электродвигателей вентиляции, $P = 30$ кВт;

$T_{\text{кал}}$ – календарный фонд времени, $T_{\text{кал}} = 8\,760$ ч.;

$T_{\text{э}}$ – стоимость 1 кВт·ч электроэнергии, $T_{\text{э}} = 3,25$ руб.

$$Z_{\text{вент.}} = 30 \cdot 8\,760 \cdot 3,25 = 854\,100 \text{ руб/год.}$$

Расчет затрат на отопление:

$$Z_{\text{отоп.}} = \left(\frac{a \cdot S_{\text{п}} \cdot T \cdot V_{\text{зд.}}}{1000} \right) \cdot T_{\text{э}}, \quad (105)$$

где $Z_{\text{отоп.}}$ – затраты на отопление, руб/год;

a – количество тепла на 1 м³ помещения, $a = 4,4$ кВт;

T – продолжительность отопительного сезона, $T = 4\,896$ ч.;

$V_{\text{зд.}}$ – объем отапливаемого помещения, $V_{\text{зд.}} = 7\,197$ м³;

$T_{\text{э}}$ – стоимость 1 кВт·ч отопления, $T_{\text{э}} = 2,93$ руб.

$$Z_{\text{отоп.}} = (4,4 \cdot 4\,896 \cdot 7\,197 \cdot 2,93) / 1000 = 454\,269 \text{ руб/год.}$$

5.6 Расчет затрат на реагенты

Затраты на реагенты приведены в таблице Д.9 приложения Д. Затраты на реагенты составляют 396 676 руб/год.

5.7 Расчет годового фонда заработной платы персонала станции очистки сточных вод

5.7.1 Расчет численности персонала

Для расчета численности персонала необходима знать баланс эффективного времени одного среднесписочного рабочего [41]. В таблице 13 приведены данные для основного персонала.

Таблица 13 – Баланс эффективного времени среднесписочного работника

Показатели	Дни	Часы
Календарный фонд рабочего времени	365	2 920
Нерабочие дни	105	840
• выходные	91	728
• праздничные	14	112
Номинальный фонд рабочего времени	250	2 000
Планируемые невыходы	45	360
• очередные и дополнительные отпуска	28	224
• невыходы по болезни	12	96
• отпуск в связи с учебой без отрыва от производства	3	24
• выполнение государственных и общественных обязанностей	2	16
Эффективный фонд рабочего времени	205	1 640

Основной персонал распределен на 4 бригады. Количество смен в сутки: 3 смены. График сменности бригад приведен в таблице 14.

Таблица 14 – График сменности бригад

Дни \ Смены	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
с 0 до 8	A	A	A	A	B	B	B	B	C	C	C	C	D	D	D	D	A	A	A	A	B	B	B	B	C	C	C	C	D	D	D
с 8 до 16	C	D	D	D	A	A	A	A	B	B	B	B	C	C	C	C	D	D	D	D	A	A	A	A	B	B	B	B	C	C	
с 16 до 24	B	B	C	C	C	C	D	D	D	D	A	A	A	A	B	B	B	B	C	C	C	C	D	D	D	D	A	A	A	A	B
Выходные	D	C	B	B	A	D	C	C	B	A	D	D	C	B	A	A	D	C	B	B	A	D	C	C	B	A	D	D	C	B	A

A, B, C, D – бригады.

Длительность сменоборота рассчитывается по уравнению:

$$T_{\text{см.об.}} = n_{\text{б}} \cdot T_{\text{н.}}, \quad (106)$$

где $T_{\text{см.об.}}$ – длительность сменоборота, день;

$n_{\text{б}}$ – число бригад;

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

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

За длительность сменоборота бригада отдыхает 4 дня, за год 91 день. Количество ночных смен в месяц – 8. За год количество ночных смен – 64.

Сменная явочная численность определяет потребность в кадрах, необходимых для сменного задания. Сменная явочная численность определяется по уравнению:

$$\text{Ч}_{\text{см.об.}}^{\text{яв}} = K_{\text{уст.}} \cdot N_{\text{обсл.}}, \quad (107)$$

где $\text{Ч}_{\text{см.об.}}^{\text{яв}}$ – сменная явочная численность;

$K_{\text{уст.}}$ – количество установленного оборудования;

$N_{\text{обсл.}}$ – норма обслуживания.

$$\text{Ч}_{\text{см.об.}}^{\text{яв}} = 2 \cdot 1 = 2.$$

Работа основных производственных работников заключается в наблюдении за процессом и регулировании процесса в случае выхода из режима, количество рабочих в смену составит 2 человека: аппаратчик 5-го разряда и оператор 5-го разряда.

Суточная явочная численность определяет потребность в кадрах, необходимых для выполнения суточного задания. Суточная явочная численность определяется по уравнению:

$$\text{Ч}_{\text{сут.}}^{\text{яв}} = \text{Ч}_{\text{см.об.}}^{\text{яв}} \cdot n, \quad (108)$$

где $\text{Ч}_{\text{сут.}}^{\text{яв}}$ – суточная явочная численность;

$\text{Ч}_{\text{см.об.}}^{\text{яв}}$ – сменная явочная численность;

n – количество смен в сутки.

$$\text{Ч}_{\text{сут.}}^{\text{яв}} = 2 \cdot 3 = 6.$$

Штатная численность определяется минимальной необходимой численностью для нормального обслуживания производства с учетом выходных дней по графику сменности и рассчитывается по уравнению:

$$Ч_{шт} = Ч_{см.об}^{яв} \cdot n_б, \quad (109)$$

где $Ч_{шт}$ – штатная численность;

$Ч_{см.об}^{яв}$ – сменная явочная численность;

$n_б$ – количество бригад.

$$Ч_{шт} = 2 \cdot 4 = 12.$$

Списочная численность – минимальная необходимая численность рабочих для выполнения задания в течение года. Списочная численность определяется по уравнению:

$$Ч_{спис} = Ч_{шт} \cdot \frac{T_{кал}}{T_{эфф}}, \quad (110)$$

где $Ч_{спис}$ – списочная численность;

$Ч_{шт}$ – штатная численность;

$T_{кал}$ – календарный фонд рабочего времени, день;

$T_{эфф}$ – плановое число выходов одного рабочего (за исключением выходных дней), день.

$$Ч_{спис} = 12 \cdot \frac{365}{306} = 14.$$

Станция очистки сточных вод гальванического производства является автоматизированной линией, работающей в автоматическом режиме. Необходимый вспомогательный персонал: дежурный слесарь, дежурный электрик, дежурный слесарь КИПиА, лаборант химического анализа. Необходимый персонал категории ИТР: начальник и инженер-технолог. Необходимый младший обслуживающий персонал: 2 уборщика. Численность основного, вспомогательного персонала и персонала категорий ИТР и МОП приведена в таблице Д.10 приложения Д.

5.7.2 Расчет годового фонда заработной платы

5.7.2.1 Расчет годового фонда заработной платы основных рабочих

Расчетный фонд заработной платы складывается из основной и дополнительной заработной платы:

$$З = З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}}, \quad (111)$$

где $З$ – годовой фонд заработной платы, руб/год;

$З_{\text{осн}}$ – основной фонд, руб/год;

$З_{\text{доп}}$ – дополнительная заработная плата, руб/год.

Основной фонд заработной платы рассчитывается по уравнению:

$$З_{\text{осн}} = З_{\text{тар}} + Д_{\text{пр}} + Д_{\text{н}} + Д_{\text{праз}}, \quad (112)$$

где $З_{\text{осн}}$ – основной фонд, руб/год;

$З_{\text{тар}}$ – тарифный фонд, руб/год;

$Д_{\text{пр}}$ – доплата премий, руб/год;

$Д_{\text{н}}$ – доплата за ночные смены, руб/год;

$Д_{\text{праз}}$ – доплата за праздничные дни, руб/год.

Тарифный фонд рассчитывается по уравнению:

$$З_{\text{тар}} = Ч_{\text{спис}} \cdot T_{\text{эфф}} \cdot T_{\text{час}}, \quad (113)$$

где $З_{\text{тар}}$ – тарифный фонд, руб.;

$Ч_{\text{спис}}$ – списочное число рабочих;

$T_{\text{эфф}}$ – эффективное время работы одного среднесписочного рабочего, час;

$T_{\text{час}}$ – тарифная часовая ставка, $T_{\text{час}} = 180$ руб/час.

$$З_{\text{тар}} = 14 \cdot 1\,640 \cdot 180 = 4\,132\,800 \text{ руб/год.}$$

Доплата премий составляет 30 % от тарифного фонда:

$$Д_{\text{пр}} = 0,3 \cdot 4\,132\,800 = 1\,239\,840 \text{ руб/год.}$$

Доплата за работу в ночные смены рассчитывается по уравнению:

$$Д_{\text{н}} = Ч_{\text{спис}} \cdot n_{\text{н}} \cdot T_{\text{см}} \cdot T_{\text{час}} \cdot П, \quad (114)$$

где $Д_{\text{н}}$ – доплата за ночные смены, руб.;

$Ч_{\text{спис}}$ – списочное число рабочих;

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

$T_{\text{см}}$ – продолжительность смены, $T_{\text{см}} = 8$ час.;

$T_{\text{час}}$ – тарифная часовая ставка, $T_{\text{час}} = 180$ руб/час;

Π – процент отчислений, $\Pi = 40$ %.

$$D_{\text{н}} = 14 \cdot 64 \cdot 8 \cdot 180 \cdot 0,4 = 516\,096 \text{ руб/год.}$$

Доплата за работу в праздничные дни рассчитывается по уравнению:

$$D_{\text{праз}} = Ч_{\text{сут.}}^{\text{яв}} \cdot n_{\text{пр}} \cdot T_{\text{час}} \cdot \Pi, \quad (115)$$

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

$Ч_{\text{сут.}}^{\text{яв}}$ – суточная явочная численность;

$n_{\text{пр}}$ – количество праздничных дней в году в году;

$T_{\text{час}}$ – тарифная часовая ставка, $T_{\text{час}} = 180$ руб/час;

Π – процент отчислений, $\Pi = 20$ %.

$$D_{\text{праз}} = 6 \cdot 14 \cdot 24 \cdot 180 \cdot 0,2 = 72\,576 \text{ руб/год.}$$

Основной фонда заработной платы:

$$З_{\text{осн}} = 4\,132\,800 + 1\,239\,840 + 516\,096 + 72\,576 = 5\,961\,312 \text{ руб/год.}$$

Дополнительная заработная плата составляет 12 % от основного фонда:

$$З_{\text{доп}} = 0,12 \cdot З_{\text{осн}} = 0,12 \cdot 5\,961\,312 = 715\,357 \text{ руб/год.}$$

Годовой фонд заработной платы основных рабочих:

$$З = З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}} = 5\,961\,312 + 715\,357 = 6\,676\,669 \text{ руб/год.}$$

5.7.2.2 Расчет годового фонда заработной платы вспомогательного персонала

Тарифный фонд заработной платы вспомогательных рабочих рассчитывается по уравнению:

$$З_{\text{тар}} = Ч_{\text{спис}} \cdot T_{\text{эфф}} \cdot K \cdot T_{\text{час}}, \quad (116)$$

где $З_{\text{тар}}$ – тарифный фонд, руб.;

$Ч_{\text{спис}}$ – списочное число рабочих;

$T_{эфф}$ – эффективное время работы одного среднесписочного рабочего, час;

K – коэффициент перехода, $K = 0,3$;

$T_{час}$ – тарифная часовая ставка, $T_{час} = 150$ руб/час.

$$Z_{тар} = 4 \cdot 1\,616 \cdot 0,3 \cdot 150 = 290\,880 \text{ руб/год.}$$

Доплата премий составляет 30 % от тарифного фонда:

$$D_{пр} = 0,3 \cdot 290\,880 = 87\,264 \text{ руб/год.}$$

Доплата за работу в праздничные дни рассчитывается по уравнению:

$$D_{праз} = Ч_{сут.}^{яв} \cdot n_{пр} \cdot T_{час} \cdot K \cdot П, \quad (117)$$

где $D_{праз}$ – доплата за работу в праздничные дни, руб.;

$Ч_{сут.}^{яв}$ – суточная явочная численность;

$n_{пр}$ – количество праздничных дней в году в году;

$T_{час}$ – тарифная часовая ставка, $T_{час} = 150$ руб/час;

K – коэффициент перехода, $K = 0,3$;

$П$ – процент отчислений, $П = 20$ %.

$$D_{праз} = 4 \cdot 14 \cdot 8 \cdot 150 \cdot 0,3 \cdot 0,2 = 4\,032 \text{ руб/год}$$

Основной фонд заработной платы:

$$Z_{осн} = 290\,880 + 87\,264 + 4\,032 = 382\,176 \text{ руб/год.}$$

Дополнительная заработная плата составляет 12 % от основного фонда:

$$Z_{доп} = 0,12 \cdot Z_{осн} = 0,12 \cdot 382\,176 = 45\,861 \text{ руб/год.}$$

Годовой фонд заработной платы вспомогательного персонала:

$$Z = Z_{осн} + Z_{доп} = 382\,176 + 45\,861 = 428\,037 \text{ руб/год.}$$

5.7.2.3 Расчет годового фонда заработной платы персонала категории ИТР и МОП

Основная заработная плата персонала категории ИТР и МОП складывается из основной и дополнительной заработной платы. Оклады персонала категории ИТР и МОП приведены в таблице 15.

Таблица 15 – Оклады персонала категории ИТР и МОП

Наименование должности	Оклад, руб.
Начальник станции очистки сточных вод	35 000
Инженер-технолог	30 000
Уборщик помещения	15 000

Фонд заработной платы вычисляем путем умножения числа штатных единиц на их месячный оклад и на число месяцев работы в году.

$$З_{\text{тар}} = 11 \cdot (1 \cdot 35\,000 + 1 \cdot 30\,000 + 2 \cdot 15\,000) = 1\,375\,000 \text{ руб/год.}$$

Доплата премий составляет 30 % от тарифного фонда:

$$З_{\text{пр}} = 0,3 \cdot 1\,375\,000 = 412\,500 \text{ руб/год.}$$

В праздничные дни на работу выходит один из двух уборщиков помещения, начальник станции очистки и инженер-технолог чередуют дни выхода. Доплата за работу в праздничные дни рассчитывается по уравнению:

$$Д_{\text{праз}} = Ч_{\text{сут.}}^{\text{яв}} \cdot n_{\text{пр}} \cdot П \cdot (T_{\text{окл}}/27,5), \quad (118)$$

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

$Ч_{\text{сут.}}^{\text{яв}}$ – суточная явочная численность;

$n_{\text{пр}}$ – количество праздничных дней в году в году;

$T_{\text{окл}}$ – тарифная месячная ставка, руб/месяц;

27,5 – среднемесячное количество рабочих часов.

$$Д_{\text{праз}}^{\text{нач.}} = 1 \cdot 7 \cdot \left(\frac{35\,000}{27,5} \right) = 8\,910 \text{ руб/год.}$$

$$Д_{\text{праз}}^{\text{техн.}} = 1 \cdot 7 \cdot \left(\frac{30\,000}{27,5} \right) = 7\,636 \text{ руб/год.}$$

$$D_{\text{праз}}^{\text{уб.}} = 1 \cdot 14 \cdot \left(\frac{15\,000}{27,5} \right) = 7\,636 \text{ руб/год.}$$

$$D_{\text{праз}} = 8\,910 + 7\,636 + 7\,636 = 24\,182 \text{ руб/год.}$$

Основной фонд заработной платы составляет:

$$Z_{\text{осн}} = 1\,375\,000 + 412\,500 + 24\,182 = 1\,811\,682 \text{ руб/год.}$$

Дополнительная заработная плата составляет 12 % от основного фонда:

$$Z_{\text{доп}} = 0,12 \cdot Z_{\text{осн}} = 0,12 \cdot 1\,811\,682 = 217\,402 \text{ руб/год.}$$

Годовой фонд заработной платы вспомогательного персонала:

$$Z = Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}} = 1\,811\,682 + 217\,402 = 2\,029\,083 \text{ руб/год.}$$

5.7.2.4 Результаты расчетов заработной платы

Результаты расчетов заработной платы приведены в таблице Д.11 приложения Д.

Общий фонд заработной платы складывается из заработной платы основного персонала, вспомогательного и персонала категории ИТР и МОП:

$$\Phi = 6\,676\,669 + 428\,037 + 2\,029\,083 = 9\,133\,789 \text{ руб/год.}$$

Расчет затрат на ОТ и ТБ:

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

$$Z_{\text{от. тб.}} = 9\,133\,789 \cdot 0,12 = 1\,096\,055 \text{ руб/год.}$$

Отчисления на социальные нужды:

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

$$Z_{\text{соц.}} = 9\,133\,789 \cdot 0,3 = 2\,740\,137 \text{ руб/год.}$$

6.6.5 Калькуляция стоимости передела

Калькуляция себестоимости передела приведена в таблице 16. Диаграмма себестоимости передела представлена на рисунке Д.1 приложения Д.

Таблица 16 – Калькуляция стоимости передела

Статьи затрат	Сумма, руб/год
Условно-переменные затраты	
Затраты на реагенты	396 676
Затраты на электроэнергию	920 985
Итого: условно-переменные затраты	1 317 661
Условно-постоянные затраты	
Фонд ЗП:	9 133 789
Основных рабочих	6 676 669
Вспомогательных рабочих	428 037
Рабочих категории ИТР, МОП	2 029 083
Отчисления на социальные нужды	2 740 137
Технологические затраты	1 718 379
Расходы на содержание и эксплуатацию оборудования:	3 280 544
Амортизация оборудования	1 093 515
Текущие и капитальные ремонты	1 640 272
Содержание оборудования	546 757
Расходы на содержание и эксплуатацию здания:	1 570 922
Амортизация здания	702 381
Содержание здания	166 160
Текущие и капитальные ремонты	702 381
Расходы на ОТ и ТБ	1 096 055
Итого условно-постоянные затраты	19 539 826
Итого себестоимость передела	20 857 478
Стоимость очистки 1 литра сточных вод	1,6

6.7 Заключение по разделу финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Рассчитана себестоимость передела очистки сточных вод гальванического производства, стоимость передела составляет 20 857 478 руб/год. Стоимость очистки 1 литра сточных вод составляет 1,6 руб.

Проект имеет экологический характер повышения ресурсоэффективности производства гальванические покрытий.