

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ 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**

Отделение: «Ядерно-топливного цикла»

ДИПЛОМНЫЙ ПРОЕКТ

Тема работы
Проект участка по очистке от сероводородсодержащих газов производительностью 30000 м³/ч

УДК 661.249.1.074

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0461	Шишков Павел Владимирович		

Руководитель

Должность	ФИО	Учёная степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЯТЦ ИЯТШ	Ворошилов Ф.А.	к.т.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Учёная степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Верховская М.В.	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Учёная степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЯТЦ ИЯТШ	Передерин Ю.В.	к.т.н.		

По разделу «Автоматизация процесса»

Должность	ФИО	Учёная степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЯТЦ ИЯТШ	Кузьмина А.В.	к.т.н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Нормоконтролёр	ФИО	Учёная степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЯТЦ ИЯТШ	Страшко А.Н.	к.т.н.		
Руководитель	ФИО	Учёная степень, звание	Подпись	Дата
Руководитель ООП	Леонова Л.И.	к.т.н.		

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ООП 18.05.02

«Химическая технология материалов современной энергетики»

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
<i>Общекультурные компетенции</i>	
P1	Представлять современную картину мира на основе целостной системы естественно-научных и математических знаний, ориентироваться в ценностях бытия, жизни, культуры; иметь широкую эрудицию, в том числе знание и понимание современных общественных и политических проблем
P2	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
P3	Применять иностранный язык в сфере коммуникаций и профессиональной деятельности, представлять результаты научных исследований и разработок в виде отчетов, публикаций, публичных обсуждений
P4	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
P5	Понимать необходимость и уметь самостоятельно учиться, и повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности
<i>Общепрофессиональные компетенции</i>	
P6	Демонстрировать глубокие естественнонаучные, математические и инженерные знания и детальное понимание научных принципов профессиональной деятельности
P7	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
<i>Профессиональные компетенции</i>	
P8	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
P9	Разрабатывать новые технологические схемы, рассчитывать и выбирать оборудование, применять средства автоматизации, анализировать технические задания и проекты с учетом ядерного законодательства
<i>Профессионально-специализированные компетенции (профиль)</i>	
P10	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
P11	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

Министерство науки и высшего образования 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

Отделение: «Ядерно-топливного цикла»

УТВЕРЖДАЮ:
Руководитель ОЯТЦ
_____ А.Г. Горюнов
(Подпись)(Дата)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

дипломного проекта

Студенту:

Группа	ФИО
0461	Шишков Павел Владимирович

Тема работы:

«Проект участка по очистке от сероводородсодержащих газов производительностью 30000 м ³ /ч»

Утверждена приказом директора (дата, номер)

Срок сдачи студентом выполненной работы:
--

27 декабря 2021 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.).

В работе рассматривается непрерывный процесс очистки природного газа от сероводородсодержащих примесей. Производительность 30000 куб. метров H₂S в час. Сырьем для очистки является газовая примесь выкачиваемая из скважины.

Абсорбент МЭА – 15% р-р, концентрация поглощаемого компонента в газе на входе в колонну 5%, концентрация поглощаемого компонента в газе на выходе из колонны 0,01%, давление в колонне 0,16 МПа, температура абсорбции 40 °С, температура газовой смеси перед теплообменником 80 °С, начальная температура охлаждающей воды 20 °С

<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</p>	<p>1. Введение 2. Обзор литературы 3. Расчеты и аналитика 3.1. Теория процесса 3.2. Приборы и методы анализа 3.3. Разработка и описание аппаратурно-технологической схемы. 3.4. Расчёт материального баланса технологической схемы 3.5. Расчёт теплового баланса технологической схемы 3.6. Расчёт основного аппарата. 3.6.1. Расчёт геометрии и габаритов основного аппарата 3.6.2. Механический расчёт основного аппарата 3.6.3. Гидравлический расчёт основного аппарата 3.6.4. Энергетический расчёт основного аппарата 4. Результаты расчетов 5. План размещения оборудования 5.1. Подбор основного технологического оборудования 5.2. Расчёт геометрии и габаритов оборудования 5.3. Энергетический расчёт 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>1. Сборочный чертёж основного аппарата А1 2. Аппаратурно-технологическая схема А1 3. План размещения оборудования А1 4. Блок схема с материальными потоками А1 5. Экономическая часть А1 6. Автоматизация процесса (приложение в ПЗ) Презентация Power Point Presentation</p>
<p>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</p>	
<p>Раздел</p>	<p>Консультант</p>
<p>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</p>	<p>Верховская М.В., доцент ОСГН ШБИП</p>
<p>Социальная ответственность</p>	<p>Передерин Ю.В., доцент ОЯТЦ ИЯТШ</p>
<p>Автоматизация процесса</p>	<p>Кузьмина А.В., доцент ОЯТЦ ИЯТШ</p>
<p>Нормоконтролёр</p>	<p>Страшко А.Н., доцент ОЯТЦ ИЯТШ</p>
<p>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</p>	
<p>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</p>	<p>11 октября 2021</p>

Задание выдал руководитель:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0461	Шишков Павел Владимирович		

Реферат

Выпускная квалификационная работа выполнена на 117 страницах, содержит 18 рисунков, 33 таблицы, формулы, 53 использованных источника, 5 листов графических материалов, презентацию Microsoft PowerPoint.

Ключевые слова: сероводород, абсорбция, газовая смесь.

Цель дипломного проекта: разработка участка по очистке от сероводородсодержащих газов производительностью 30000 м³/ч.

Объект проектирования: технологическая цепочка абсорбционной установки по сероводородсодержащим газам технического.

Степень внедрения: данная технология используется в промышленности.

Область применения: атомная энергетика, нефтехимическая промышленность, производство очищенного газа.

Сокращения и нормативные ссылки

Нормативные ссылки

1. Дытнерский Ю.И., Борисов Г.С., Брыков В.П. и др. Основные процессы и аппараты химической технологии: Пособие по проектированию /2-е изд. - М.: Химия, 1991. - 496с.
2. Основные процессы и аппараты химической технологии: Пособие по курсовому проектированию/Под ред. Ю.И. Дытнерского, 3-е изд., стереотипное. – М: ООО ИД «Альянс», 2007 – 496с.
3. Беляев В.М., Миронов В.М. Конструирование и расчет элементов оборудования отрасли. Ч.I: Тонкостенные сосуды и аппараты химических производств: Учебное пособие. – Изд-во Томского политехнического университета, - 2016. – 314 с.
4. ГОСТ 34233.1-2017 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Общие требования. – М.: Стандартинформ, 2018.
5. ГОСТ 6533-78, Днища эллиптические отбортованные стальные для сосудов, аппаратов и котлов. М.: Изд-во стандартов, 1978. – 26 с.
6. АТК 24.218.06-90, Штуцера для сосудов и аппаратов стальных сварных типы, основные параметры, размеры и общие технические требования. М.: Изд-во стандартов, 1990. – 46 с.
7. ОСТ 26-2094-83, Люки с фланцами и крышками, облицованными листом из коррозионностойкой стали, стальных сварных сосудов и аппаратов. Конструкция и размеры, М.: Изд-во стандартов, 2003. – 30.
8. ГОСТ 34233.3-2017 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Укрепление отверстий в обечайках и днищах при внутреннем и наружном давлениях. Расчет на прочность обечаек и днищ при внешних статических нагрузках на штуцер (утв. приказом Росстандарта от 14.12.2017 N 1991-ст).

9. ГОСТ 12820-80, Фланцы стальные плоские приварные на Ру от 0,1 до 2,5 МПа (от 1 до 25 кгс/см²), конструкция и размеры, М.: Изд-во стандартов, 1981. – 12 с. 102

10. ГОСТ 52857.4-2007, Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Расчет на прочность и герметичность фланцевых соединений. М.: Изд-во стандартов, 2008. – 37 с.

11. ГОСТ 481-80, Паронит и прокладки из него. Технические условия, М.: ИД «Москва», 2004. – 16 с.

12. ГОСТ Р 52857.4-2004 "Расчет фланцевых соединений".

Михалев М.Ф. Расчет и конструирование машин и аппаратов химических производств. Примеры и задачи. М.: изд-во Ленинград «Машиностроение», 1984. — 299 с.

Обозначения и сокращения

ПДК – предельно допустимая концентрация

НПЗ – нефте-перерабатывающий завод

КПД – коэффициент полезного действия

КИПиА – контрольно-измерительные приборы и автоматика

Содержание

Введение	4
1 Литературный обзор.....	6
1.1 Существующие методы отделения сероводорода	6
1.2 Процессы очистки газа аминами	13
1.2.1 МЭА – способ.....	13
1.2.2 ДЭА – способ.....	13
1.2.3 МДЭА/ДЭА – способ.....	14
1.2.4 Способ ДИПА.....	15
1.2.5 ТЭА – способ.....	16
1.2.6 Способ Эконамин	16
1.2.7 Способ Амизол	17
1.2.8 Микробиологические методы очистки газа	17
1.3 Описание технологии очистки природного газа водными растворами этанолламинов.....	20
1.4 Объект исследования.....	23
2. Расчеты и аналитика.....	30
2.1 Материальный баланс процесса. Определение расхода потоков.....	30
2.2 Расчет движущей силы и числа единиц переноса	33
2.3 Определение скорости пара и диаметра абсорбера	37
2.4 Плотность орошения и активная поверхность насадки	39
2.5 Определение высоты слоя насадки	40
2.6 Поверхность массопередачи и высота абсорбера.....	44
2.7 Гидравлическое сопротивление насадочного абсорбера	44
2.8 Расчет вспомогательного оборудования.....	45
2.8.1 Расчет и подбор емкости	45
2.8.2 Расчет и подбор насоса.....	46
2.8.3 Расчет газопровода и подбор газодувки	49
2.8.4 Расчет и подбор теплообменника для охлаждения газа	50

2.8.5 Подбор стандартного оборудования.....	53
2.8.6 Расчет и выбор штуцеров	54
2.9 Прочностной расчет.....	55
2.9.1 Расчет цилиндрической обечайки	55
2.9.2 Расчет толщины стенки эллиптического днища.....	58
2.9.3 Расчет и выбор опоры	59
2.9.4 Штуцер для отвода абсорбента.....	60
2.9.5 Штуцер для подачи газовой смеси	64
2.9.6 Штуцер для отвода очищенного газа.....	67
2.9.7 Штуцер для подачи жидкого поглотителя.....	69
3 Результаты расчетов.....	72
4 План размещения оборудования	74
5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	80
5.1 Планирование потребности в человеческих ресурсах	80
5.2 Формирование плана и графика разработки и внедрения инженерного решения. 80	
5.3 Обоснование необходимых инвестиций для разработки и внедрения инженерных решений	84
5.4 Расчет годового фонда заработной платы	90
5.4.1 Расчет заработной платы основных рабочих.....	90
5.4.2 Расчет заработной платы вспомогательных рабочих.....	92
5.4.3 Расчет заработной платы МОП.....	93
5.4.4 Технологические затраты	94
5.4.5 Расчет амортизации и себестоимости.....	96
5.4.6 Вывод по разделу.....	100
6 Социальная ответственность.....	101
6.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	101
6.2 Производственная безопасность.....	103
6.3 Анализ опасных и вредных факторов	104
6.3.1 Повышенный уровень шума	104
6.3.2 Освещение.....	105

6.3.3 Микроклимат.....	107
6.3.4 Электробезопасность	109
6.3.5 Взрыво- и пожаробезопасность.....	111
6.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	112
6.5 Выводы по разделу.....	114
7 Автоматизация процесса.....	115
7.1 Технологические параметры, подлежащие контролю, регулированию и сигнализации	117
7.2 Подбор контрольно-измерительных приборов	117
7.3 Выводы по разделу.....	119
Заключение	121
Список использованных источников.....	123
Приложение А.....	128
Приложение Б.....	130

Графический материал:

ДП ФЮРА 06211.000 СП

ДП ФЮРА 06211.001 СБ

ДП ФЮРА 06211.002 АТС

ДП ФЮРА 06211.003 БС

ДП ФЮРА 06211.004 ПРО

ДП ФЮРА 06211.005 ЭКЧ

Введение

Газ является наиболее распространенным и востребованным видом топлива. Его стоимость максимально доступна, и, кроме того, он наносит небольшой ущерб экологии. Существенное преимущество газа состоит в том, что процессом его сгорания легко управлять и все стадии переработки горючего при получении тепловой энергии можно обезопасить.

Но добыча природного газообразного ископаемого происходит не в чистом виде, потому что по мере того, как газ выкачивается из скважин, осуществляется откачивание попутных органических соединений, главным образом сероводорода. Его содержание может различаться и составлять от десятых долей до десяти и выше процентов: все зависит от особенностей месторождения.

Сероводород является ядовитым и представляет опасность для окружающей среды. Он также наносит вред катализаторам, используемым в процессе газопереработки. Данное органическое соединение весьма опасно для стальных труб. Также им может быть повреждена металлическая запорная арматура.

Коррозией повреждаются магистральный газопровод и частная система. Из-за сероводорода происходит утечка газа, результатом чего становятся весьма негативные и опасные ситуации. С целью обезопасить потребителей опасные для здоровья соединения подлежат удалению из состава газообразного топлива до того, как оно будет поставляться в магистраль.

В соответствии с нормативами, на сероводородные соединения в транспортируемом по трубам голубом топливе должно приходиться не более 0,02 г/м³. Но в действительности их бывает намного больше. С целью обеспечения установленных в ГОСТе 5542-2014 значений необходимо проводить очистку.

Если рассматривать химическую промышленность, то здесь, для того чтобы разделить жидкие и газовые гомогенные смеси, сделать их концентрированными и защитить окружающую природу (в первую очередь очистить сточные воды и отходящие газы), активно осуществляются массообменные процессы в виде ректификации, сушки, экстракции, адсорбции, абсорбции и пр.

Абсорбция – это специфическая химическая технология, подразумевающая массоперенос между газообразными компонентами и жидким растворителем. Данный процесс проходит при помощи специального аппарата, в котором газ контактирует с жидкостью. Аппараты, используемые для абсорбции, называются абсорберами.

Противоположным абсорбции процесс называют «десорбция». При изменении условий (понижении давления над жидкостью, уменьшении температуры) процесс приобретает обратимый характер и из жидкости выделяется газ. Итак, циклический процесс абсорбции и десорбции способствует выделению поглощенного компонента. При сочетании абсорбции и десорбции можно много раз использовать практически без потери жидкий поглотитель, т.е. абсорбент, в условиях замкнутого контура аппаратов: абсорбер – десорбер - абсорбер (циклический процесс) с выделением поглощенного компонента в чистом виде.

В проекте рассматривается участок по очищению природного газа от сероводородсодержащих примесей. Технологический процесс представлен в виде абсорбционной установки с применением десорбера.

1 Литературный обзор

1.1 Существующие методы отделения сероводорода

Наряду с преобладающим по сравнению с остальными примесями сероводорода в газе зачастую присутствуют и иные вредные соединения. Так, в нем может присутствовать углекислота, также возможно наличие легких меркаптанов и серооксида углерода. Однако сероводород всегда является доминирующим [1].

Необходимо подчеркнуть, что некоторое небольшое присутствие сернистых соединений в очищенном газообразном топливе является нормой. Показатель допустимых соединений зависит от цели газодобычи. Так, если газ добывается для того, чтобы производить оксид этилена, совокупное содержание сернистых примесей допускается меньше 0,0001 мг/м³.

Способ осуществления очистки подбирают исходя из требуемого результата.

Все имеющиеся на сегодняшний день методы делятся на два класса. В частности, методы могут быть:

- Сорбционными. При использовании данных методов сероводородные соединения поглощает твердый (при адсорбции) либо жидкий (при абсорбции) реагент. Впоследствии из серы выделяются ее производные. Затем выделенные из газа вредные примеси подлежат утилизации либо переработке.

- Каталитическими. Подразумевают окисление либо восстановление сероводорода, который превращается в элементарную серу. В данном процессе присутствуют катализаторы, то есть вещества, которые стимулируют прохождение химических реакций.

При адсорбции сероводород собирается через концентрацию его на поверхностях твердых веществ. Как правило, в данном процессе пользуются зернистыми материалами на основе активированного угля либо окиси железа. За счет свойственной зернам большой удельной поверхности молекулы серы могут максимально удерживаться.

Процесс абсорбции имеет отличие от адсорбции. Растворение газообразных сероводородных примесей происходит в активном жидком веществе, после чего происходит переход газообразных загрязнений в жидкую фазу. После этого происходит удаление выделенных вредных компонентов через отпаривание (десорбцию). Так они отделяются от реактивной жидкости.

Хотя адсорбционная технология представляет собой «сухой» процесс и способствует тонкой очистке газа, при удалении загрязнений из природного газа, как правило, прибегают к абсорбции. Сбор и исключение сероводородных соединений через жидкие поглотители является более рациональным и выгодным.

На сегодняшний день разработано множество способов очистки углеродородного газа. Все они могут условно быть распределены по трем группам. В частности, способы могут быть каталитическими, адсорбционными и абсорбционными (рисунок 1). Самыми распространенными являются последние два способа. Они допускают любые показатели начального содержания примесей в голубом топливе. Адсорбция применяется, если изначальное содержание примесей невелико (3–5% об.), однако они способствуют максимально глубокой очистке газа.

Абсорбционные способы с точки зрения особенностей применяемого абсорбента могут быть окислительными, комбинированными. Также выделяют физическую абсорбцию и химическую абсорбцию, или хемосорбцию.



Рисунок 1 – Основные способы очистки углеводородного газа

Серосодержащие вещества могут быть удалены из газов самыми разными способами. На то, какой вариант является наиболее приемлемым, влияют разнообразные факторы. В частности, речь идет об изначальной концентрации серосодержащих компонентов, необходимой степени очистки, физико-химическом составе газа, объеме расхода, температуре и пр. В целом выделяется три главных способа [2]:

- Способ абсорбционного поглощения при помощи жидкостей;
- способ адсорбционного поглощения при помощи твердых веществ;
- использование каталитических способов.

Рассмотрим особенности абсорбционных методов

Здесь имеется в виду главным образом жидкостная абсорбция. Это процесс, при котором компоненты газа поглощаются жидким сорбентом. Процесс связывания молекул компонентов, содержащих серу, может носить физический характер, и в этом случае соединения серы растворяются в жидкой среде (метод физической абсорбции), а может носить химический характер. Во втором слу-

чае происходит процесс химического взаимодействия с активными компонентами абсорбента (метод хемосорбции, или химической абсорбции). Для того чтобы применить сорбент повторно, он должен пройти регенерацию. В ходе регенерации происходит выведение из него поглощенного загрязнителя. Это осуществляется разными способами.

Абсорбенты, при помощи которых производится химическая абсорбция, имеют достаточную избирательность, в связи с чем они способствуют максимально глубокой и полной очистке газа. Но регенерация их чаще всего вызывает определенные сложности, что способствует существенному повышению стоимости очистки газа. Для того же, чтобы регенерировался физический абсорбент, можно просто увеличить температуру.

Чтобы провести абсорбционную очистку жидкого топлива, как правило, пользуются массообменными аппаратами – скрубберами. Скрубберы могут быть насадочными, барботажно-пенными, центробежными. Также выделяются скрубберы Вентури.

Адсорбционные методы

Отметим, что, в отличие от абсорбционных способов, в процессе адсорбции загрязнитель поглощается лишь на поверхности сорбента, который является твердым телом. Адсорбция может быть физической. При ее применении молекулы компонентов, содержащих серу, удерживаются при помощи поверхностных сил. Также адсорбция может быть химической. В этом случае молекулы загрязняющих компонентов вступают в химическое взаимодействие с поверхностью адсорбента. Самым распространенным является первый метод, так как сорбенты, на которых основана физическая адсорбция, способствуют глубокой и полной очистке потока газа и, кроме того, способны к качественной регенерации. Химическая же адсорбция вызывает много сложностей в отношении регенерации сорбента. Самыми распространенными и используемыми адсорбентами являются активированный уголь и разнообразные цеолиты, имеющие искусственное происхождение. С точки зрения технологии адсорбционные аппараты значительно отличаются от абсорбционных. Это связано с тем, что первые

функционируют главным образом с определенной периодичностью. Перерывы делаются для того, чтобы сорбент успевал регенерировать. При этом в абсорбционном аппарате намного проще осуществляется постоянная циркуляция поглощающих агентов между абсорбером и регенератором.

Каталитические методы

Каталитические способы подразумевают процесс, при котором содержащие серу компоненты голубого топлива трансформируются в другую форму, которая является безопасной или легко отделяемой. В частности, окисление H_2S происходит при помощи кислорода воздуха до состояния атомарной серы. При этом происходит следующая реакция: $2\text{H}_2\text{S} + \text{O}_2 \rightarrow \text{H}_2\text{O} + 2\text{S}$. Этот процесс необратим. В естественной среде подобные процессы происходить не могут. По этой причине, для того чтобы его осуществить, пользуются катализаторами, благодаря которым кислород легко переносится. Катализаторы при очистке газовой смеси могут быть представлены гидратом окиси железа в растворе соды, горячими растворами мышьяковых солей щелочных металлов и пр. При этом SO_2 посредством катализаторов окисляется до SO_3 , применяемого при изготовлении H_2SO_4 .

Для того чтобы удалить из голубого топлива H_2S , существует множество разных методов. Если в работе присутствует большой поток газа, который продвигается с достаточно большой скоростью, целесообразно пользоваться абсорбционными методами. Абсорбенты могут быть представлены растворами солей щелочных металлов, моно- и диэтанолaminaми [3].

Старый и не такой результативный, как нынешние, но очень простой и удобный метод очистки газа от серосодержащих компонентов, – это метод Сибборд-процесса. При его использовании газ промывается при помощи раствора 1-3% кальцинированной соды. Для его регенерации требуется обычная продувка воздуха. Приведем формулу обратимой реакции поглощения:



Весьма распространенными абсорбентами являются также моно- и диэтанолaminaми, так как они являются более стабильными и способными к вступле-

нию в реакции. Реакция поглощения является обратимой и в том случае, если применяется моноэтаноламин. Она протекает по формуле:



Десорбция H_2S происходит при 105°C . Затем возможно повторное применение поглотительного раствора. Поглощение же H_2S осуществляется, как правило, при температуре $30\text{--}40^\circ\text{C}$, но при этом необходимо охлаждение в ходе очистки дымовых газов.

Адсорбционная очистка газа имеет ряд недостатков. В частности, это достаточно большие расходы на эксплуатацию и полупериодичный характер процесса. Поэтому данные процессы применяют в основном при тонкой очистке газа от избыточных масс сероводорода, после того как будет проведена предварительная очистка при помощи абсорбции.

Каталитическими способами очистки синего топлива от кислых элементов пользуются при наличии в нем сернистых соединений, которые не полностью удаляются жидкими поглотителями либо адсорбентами.

Отметим, что в промышленности активно используются способы каталитического гидрирования, в основе которых лежит взаимодействие сернистых соединений и водорода (метод гидрирования) либо водяного пара (метод гидролиза). Катализаторами в данных процессах выступают оксиды таких элементов, как молибден, никель, кобальт, которые наносятся на оксид алюминия.

Основная роль в международной практике в сфере очистки углеводородного газа от кислых элементов отводится аминным процессам. Их используют с целью очистки газа уже несколько десятков лет, однако до сих пор они остаются главными – около 70 % от совокупной численности установок [4–6].

В течение пятидесяти лет самая востребованная и распространенная технология, при помощи которой из газа выделяется и удаляются сероводород и угольная кислота, основана на химической очистке газа, при которой используется аминный сорбент в форме водного раствора.

Применение аминной технологии является подходящей при обработке значительных объемов голубого топлива по следующим причинам:

– Отсутствует дефицит. Реагенты могут быть легко приобретены в объемах, необходимых для очистки.

– Этот способ обладает приемлемой поглощаемостью, так как аминам свойственна большая поглотительная способность. Среди всех используемых веществ лишь они могут удалить 99,9% сероводорода.

– Способ обладает приоритетными характеристиками. Водным аминным растворам свойственна максимально приемлемая вязкость, плотность паров, они являются химически и термически стабильными и имеют низкую теплоемкость. Эти свойства способствуют наиболее эффективному протеканию абсорбции.

– Реактивные вещества не являются токсичными. Данный фактор является весьма существенным, доказывающим необходимость применения именно аминного способа.

– Селективность является качеством, обязательным при осуществлении селективной абсорбции. Селективность позволяет последовательно осуществлять требующиеся реакции в нужной для оптимального эффекта очередности.

Этаноламины, используемые при осуществлении химических способов очистки природного топлива от сероводорода и углекислоты, представлены моноэтаноламинами (МЭА), диэтаноламинами (ДЭА), триэтаноламинами (ТЭА). Вещества, имеющие приставки моно- и ди-, способствуют исключению из газа и H_2S , и CO_2 . Третий же вариант способствует удалению только сероводорода.

Когда осуществляется селективная очистка газа, применяются метилдиэтаноламины (МДЭА), дигликольамины (ДГА), диизопропаноламины (ДИПА). Отметим, что селективными абсорбентами пользуются главным образом за границей.

Понятно, что идеальные абсорбенты, соответствующие всему комплексу требований по очистке перед отправкой в систему газового отопления и снабжения и иного оборудования, на сегодняшний день отсутствуют. У каждого

растворителя есть свои преимущества и свои недостатки. Выбирая реактивное вещество, необходимо подобрать наиболее эффективное из существующих.

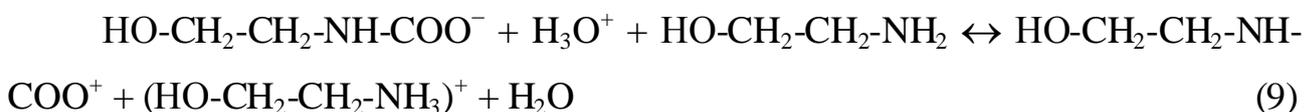
1.2 Процессы очистки газа аминами

1.2.1 МЭА – способ

Для МЭА-метода в качестве хемосорбента применяется водный раствор моноэтаноламина (содержание 15–30 % мас.). Большое содержание моноэтаноламина используют лишь в случаях, когда применяются высокоэффективные ингибиторы коррозии. Протекание реакции МЭА и сероводорода и диоксида углерода проходит по следующей схеме [7]:



Следует отметить способность первичных и вторичных аминов (МЭА и ДЭА), в отличие от третичных, к вступлению в непосредственную реакцию с CO_2 , в ходе которой образуется карбамат. Реакция проходит по схеме:



Растворы моноэтаноламина способствуют тонкой очистке голубого топлива от H_2S и CO_2 в разнообразных концентрациях. МЭА способен к легкой регенерации. Он обладает химической стабильностью, и в отличие от остальных аминов слабо поглощает углеводороды.

1.2.2 ДЭА – способ

Есть два вида ДЭА-процесса. В частности, этот процесс может быть обычным (с концентрацией ДЭА в растворе 20–25 % и поглотительной способ-

ностью 0,6–0,8 моль/моль). Также существует ДЭА-SNPA-процесс (с концентрацией ДЭА в растворе 25–35 % и поглотительной способностью 1–1,3 моль/моль). Обычный ДЭА-процесс применяется, если парциальное давление кислого газа в сыром углеводородном газе составляет 0,2 МПа и более. ДЭА-SNPA-процесс применяется, если парциальное давление более 0,4 МПа.

Отметим, что реакции, в которые вступают ДЭА с H_2S и CO_2 , протекают так же, как показано в указанных ранее уравнениях (3) – (9). Реакции ДЭА протекают с меньшей скоростью по сравнению с МЭА. Также продукты реакции ДЭА с COS и CS_2 почти в полной мере гидролизуются. В связи с этим растворы ДЭА отличаются от МЭА тем, что они способствуют тонкой очистке газа при наличии COS и CS_2 . ДЭА отличается химической стабильностью при очистке голубого топлива. Он достаточно просто газа регенерируется и характеризуется низким давлением насыщенных паров. Также раствор ДЭА не так сильно пенится, как МЭА.

Минусы ДЭА метода заключаются в меньшей поглотительной способности раствора, а также высоком удельном расходе абсорбента.

Итак, основные плюсы ДЭА-метода заключаются в следующем:

- Позволяют обеспечить тонкую очистку газов при наличии COS , CS_2 , а также тяжелых углеводородов;
- насыщенный абсорбент быстро регенерирует, так как химические связи формирующихся соединений являются менее прочными;
- ДЭА характеризуется более низким давлением насыщенных паров, это способствует меньшим потерям с кислым газом в условиях десорбера;
- процесс абсорбции осуществляется на 10–20 °С больше по сравнению с МЭА-процессом. Это не дает раствору пениться, если в процессе очистки газа содержание тяжелых углеводородов повышено.

1.2.3 МДЭА/ДЭА – способ

Для того чтобы повысить технические и экономические показатели очистки голубого топлива от кислых элементов с минимальными эксплуатацион-

ными издержками, следует модифицировать ДЭА-метод и применять водный раствор смеси МЭА и ДЭА. Определено, что наиболее корректное содержание диэтаноламина в смеси - 30–50 %. Если применять смешанный поглотитель названного состава, можно в два раза уменьшить удельное орошение в сравнении с чистым раствором диэтаноламина. Также это позволит предусматривать разное соотношение ДЭА и МДЭА в поглотительном растворе в соответствии с уровнем очистки голубого топлива. Применение в смеси абсорбентов позволяет снизить коррозионную активность на 50–70 %. Что касается третичного амина (МДЭА), то ему свойственна большая поглощающая способность в отношении кислых газов CO_2 и H_2S . За счет квазифизического характера абсорбции, регенерация абсорбента нуждается в достаточно небольших расходах энергии. В растворитель примешивают немного активатора, за счет чего кинетика абсорбции CO_2 значительно возрастает.

Для адаптации показателей и свойств растворителя к разным условиям применения меняется степень концентрации активатора.

Плюсы МДЭА/ДЭА-процесса заключаются в следующем:

- Небольшой расход энергии;
- небольшие капиталовложения;
- большой уровень извлечения углекислого газа, если применяются специальные способы;
- растворитель является коррозионно пассивным;
- растворитель является термически и химически стабильным;
- небольшая потеря углеводородов и других инертных частиц.

Минус этого процесса состоит в его большой стоимости и достаточно существенных потерях при применении.

1.2.4 Способ ДИПА

В рассматриваемом методе хемосорбентом выступает диизопропаноламин (ДИПА) в H_2O растворе с присутствием до 40 % ДИПА. Данный метод способствует тонкой очистке газа от сероводорода (до $1,5 \text{ мг/м}^3$) и CO_2 (до 0,01

%); растворимость углеводородов низкая. Этот метод позволяет извлечь до 50 % COS и RSR [8].

ДИПА при наличии CO₂, COS и RSR способствует образованию легко регенерируемых соединений с потерями, практически в два раза меньшими по сравнению с МЭА. Если абсорбентами являются растворы ДИПА, аппаратура почти не подвергается коррозии. Реакция ДИПА и сероводородом и диоксидом углерода приводит к меньшему тепловому эффекту по сравнению с МЭА. В связи с этим пар в процессе регенерации расходуется меньше.

Углеводы в ходе ДИПА растворяются слабо, и их присутствие в кислых газах составляет не более 0,5 % об. Если используется ДИПА, в производстве газоочистительных установок может применяться углеродистая сталь. Между технологическими схемами МЭА-очистки и ДИПА почти нет отличий. В связи с этим оборудование для МЭА можно перенастроить для работы с ДИПА.

1.2.5 ТЭА – способ

Разница между триэтаноломином и первичными и вторичными аминами в том, что он поглощает углекислый газ физически. Это способствует существенному уменьшению парциального давления углекислого газа в голубом топливе в ходе контакта с раствором ТЭА. Регенерация происходит посредством ступенчатого испарения. Растворам третичных аминов (45–53 % мас.) свойственна небольшая абсорбционная способность в отношении углеводородов. Это является основным преимуществом растворов ТЭА, абсорбирующих углекислый газ при небольшом содержании H₂S в голубом топливе.

1.2.6 Способ Эконамин

В данном методе поглотителем выступают 60 – 75 % водные растворы дигликольамина (ДГА). Дигликольамин является фирменным наименованием 2-этокси (2-амино) этанола: HO-CH₂-CH₂-O-CH₂-CH₂-NH₂ [9].

Данный метод способствует глубокой очистке газа от H₂S (ниже 5,7 мг/м³) и углекислого газа (менее 0,01 % об.). Когда ДГА взаимодействует с

такими веществами, как CO_2 , COS , CS_2 и меркаптаны, происходит образование легко регенерируемых соединений. В отличие от МЭА и ДЭА, рассматриваемый способ имеет намного большую способность к извлечению меркаптанов. Уровень насыщения раствора кислыми компонентами может достигать до 0,5 моль/моль ДГА. Это приблизительно на 20 % больше по сравнению с МЭА. Также раствор дигликолямина способствует весьма небольшому растворению углеводородов. Регенерация раствора дигликолямина, насыщенного примесями, осуществляется, как правило, в условиях вакуума (10–20 кПа). Это позволяет поддерживать температурный режим регенерации не более 170 °С.

Этот процесс имеет существенный недостаток: он гораздо более затратный и приводит к более значительным потерям при использовании.

1.2.7 Способ Амизол

При этом методе хемосорбентом выступает раствор МЭА или ДЭА в метаноле. Этот абсорбент способствует поглощению H_2S , CO_2 , меркаптанов. Процесс абсорбции происходит при температуре 35 °С, а процесс регенерации – при температуре 80 °С. Поэтому теплота на регенерацию расходуется меньше, в отличие от водных растворов аминов. Данный процесс был изучен с давлением 3 МПа, удалось достичь высокого уровня очистки H_2S (0,3 ppm), COS (0,1 ppm), CO_2 (10 ppm). Протекание побочных реакций аминов с CO_2 и COS в растворе метанола происходит в десять раз более медленно по сравнению с водным раствором МЭА и в сто раз более медленно по сравнению с ДЭА. Оборудование при этом почти не страдает от коррозии [10].

Этот процесс имеет существенный недостаток, который заключается в высоком уносе паров метанола. Но за счет очистки водой после абсорбера можно улавливать его практически в полной мере.

1.2.8 Микробиологические методы очистки газа

Новым и весьма перспективным направлением в сфере очистки голубого топлива от сероводорода на сегодняшний день являются процессы, в основе ко-

торых лежит применение микроорганизмов. В частности, это тионовые бактерии, которые окисляют серосодержащие соединения.

В окислении H_2S и иных мерных соединений могут участвовать практически все фототрофные бактерии, при этом большинство из этих бактерий - автотрофы. Для данных бактерий восстановленные сернистые соединения выступают в качестве Н-доноров в процессе ассимиляции углекислоты и в остальных процессах. В качестве источника энергии выступает свет. В основной своей массе так называемые тионовые бактерии являются типичными хемоавтотрофами, то есть они применяют восстановленные сернистые соединения не только в качестве Н-доноров, но и как источники энергии. Кроме того, они могут расти на исключительно минеральной среде и ассимилировать при этом углекислоту. Эти микроорганизмы называются *Thiobacillus*. С точки зрения кислотности среды они делятся на организмы, которые могут нормально расти при протекании нейтральных и даже щелочных реакций, и ацидофильные организмы, которые развиваются в условиях кислой среды и не выдерживают самые низкие показатели рН.

Первая группа включает в себя такие организмы, как *T. Neapolitanus*, *T. thioscyanoxidans*, *T. novellus*, *T. denitrificans*, *T. thioparus*. Для них допустимый показатель рН варьируется в пределах 6,0–9,0, а круг показателей рН, при которых они могут начать расти, - от 3,0–6,0 до 10,0–11,0. Следует отметить, что для различных организмов и штаммов допустимые показатели рН и сфера активной кислотности, в условиях которой они растут, могут существенно различаться.

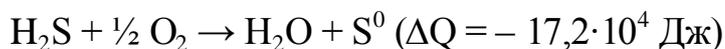
Вторая группа включает в себя *T. Intermedius*, *T. ferroxidans*, *T. thiooxidans*. Для данных бактерий допустимый показатель рН 2,0–4,0, а расти они могут при показателях от 0,5–2,0 до 5,0–7,0. Самые ацидофильные бактерии - это *T. ferroxidans* и *T. thiooxidans*. Их рост возможен при показателях рН не выше 5,0.

В основной своей массе тионовые бактерии могут расти лишь при наличии O_2 , однако некоторые их виды могут расти и при небольшом его содержа-

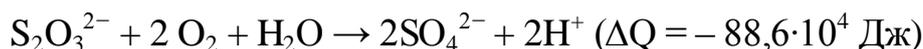
нии. Если обеспечены аэробные условия, данные микроорганизмы проводят окислительные процессы, в которых участвует молекулярный кислород.

Конечный продукт процесса окисления тионовых микроорганизмов представлен сульфатами и элементарной серой.

Когда окисляется сероводород, происходит следующая реакция:



Если окисляются сера и тиосульфат в аэробных условиях:



Если рассматривать процесс влияния на серу, то здесь представлены два мнения:

– для того чтобы сера окислилась микроорганизмами, важно, чтобы она находилась в прямом контакте с клетками;

– бактерии используют серу после того, как предварительно растворятся в веществах липидного происхождения, которые они выделяют в среду.

Рассматривая процесс окисления соединений серы, то информация тоже достаточно противоречива. Самой рациональной мы считаем схему, отражённую на рис. 2.

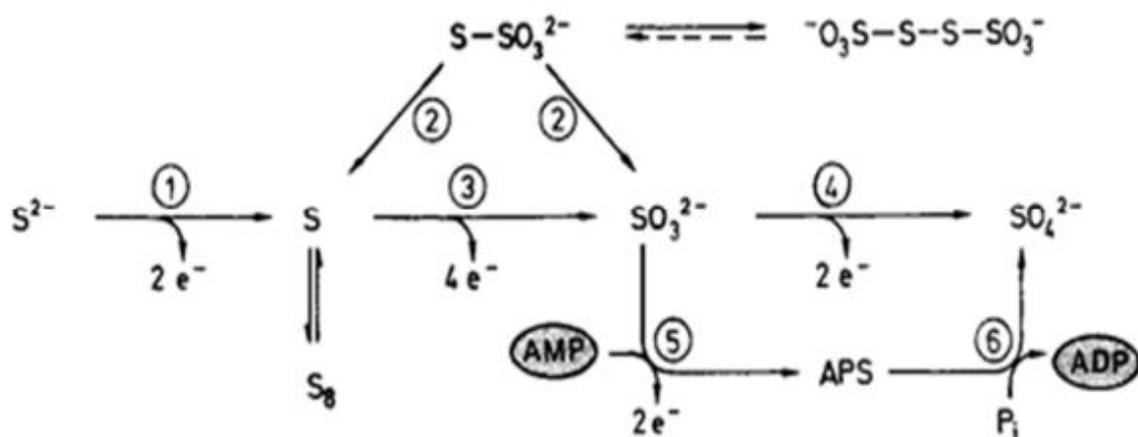


Рисунок 2 – Наиболее важные стадии соединений, содержащих серу, бактериями

Ферменты, принимающие участие в реакциях (цифры в кружках):

1 – сульфидоксидаза; 2 – фермент, который расщепляет тиосульфат (роданеза);

3 – фермент, которым окисляется сера; 4 – сульфитоксидаза; 5 – АФС-редуктаза; 6 – ADP-сульфурилаза (сульфат-аденилилтрансфераза)

На сегодняшний день лидирующие позиции в мире по биотехнологической очистке газов, содержащих серу, заняли компании Shell Global Solutions B.V. (США), UOP LLC (США) и Paques B.V (Нидерланды), которые предлагают процессы Shell-Paques, Thiopaq DeSOx, Thiopaq™ [67–70].

1.3 Описание технологии очистки природного газа водными растворами этаноламинов

Как мы отмечали ранее, углеводородное сырье включает в себя множество серосодержащих примесей в виде меркаптанов, сероуглерода, серооксида углерода, сероводорода. Газовый конденсат богат содержанием также сульфидов и дисульфидов. Однако их присутствие не является желательным, так как они способствуют коррозии техники и отравлению катализаторов. В связи с этим они подлежат удалению.

Гидроочистка способствует превращению меркаптанов и сульфидов в H_2S , легко отделяемый посредством абсорбции этаноламинами [11].

В физических процессах, для того чтобы извлечь кислые компоненты из голубого топлива, проводят их физическое растворение в используемом абсорбенте. Чем больше значение парциального давления компонентов, тем более растворимыми они становятся. Среди физических абсорбентов в промышленности при очистке газа пользуются пропиленкарбонатом; алкиловыми эфирами полиэтилен гликоля; N-метилпирролидоном; метанолом.

Наличие гидроксильной группы способствует уменьшению давления насыщенных паров и увеличению растворимости амина в H_2O . За счет аминогруппы водные растворы становятся щелочными, что обеспечивает их взаимодействие с сероводородом и углекислым газом, претерпевающими в водной среде диссоциацию, в ходе которой формируются слабые кислоты.

Алколамины являются бесцветными, вязкими, гигроскопичными жидкостями, которые смешиваются с H_2O и низкомолекулярными спиртами в любых соотношениях. Неполлярные растворители практически не растворяют их.

Они используются чаще всего в форме водных растворов. Концентрация амина в растворах варьируется в достаточно больших пределах. Ее выбирают, руководствуясь практикой деятельности и соображениями коррозии техники.

Алколамины – это основания, легко вступающие в реакцию с кислыми примесями с формированием ассоциатов. Так происходит накопление кислых примесей в жидкости.

Отметим, что отработанные этаноламины способны к быстрой регенерации. В процессе нагревания они отдают кислые газы.

На этапе регенерации абсорбента происходит разрушение некоторых из них с повторным выделением алколамина. Остальные не регенерируются, в связи с чем теряется амин. Максимальное число соединений, не подлежащих регенерации, свойственно первичным алколаминам.

Газ, направляемый на очистку, восходящим потоком пропускается через абсорбер, встречаясь на пути с потоком раствора. Раствор, в котором присутствуют кислые газы, выходит из нижней части. Затем происходит его подогрев в теплообменнике при помощи регенерированного раствора из десорбера, после чего он поступает вверх.

Этот процесс изображен на рисунке 3.

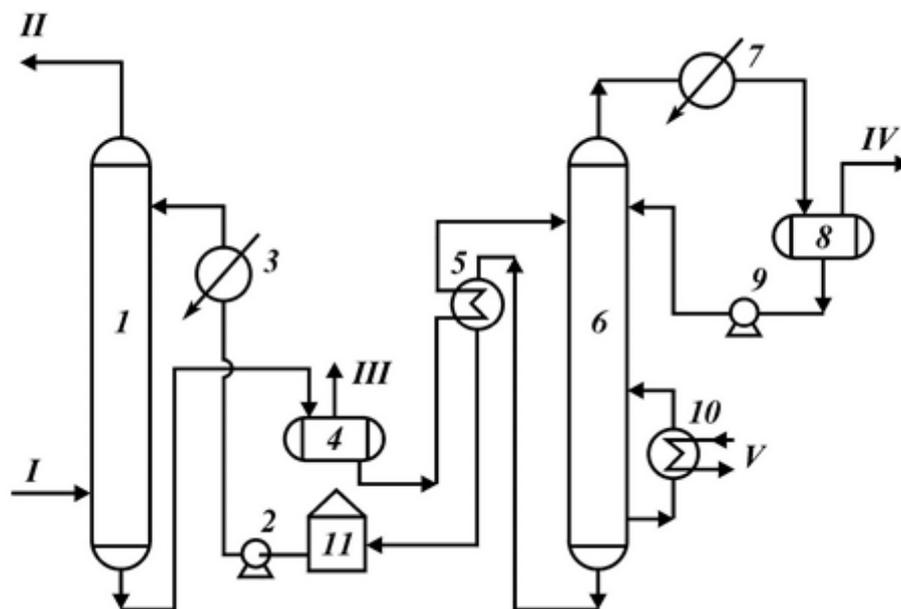


Рисунок – 3. Схема однопоточной очистки газа растворами этаноламинов:
 I – газ на очистку; II – очищенный газ; III – экспанзерный газ; IV – кислый газ;
 V - водяной пар; 1 – абсорбер; 2, 9 – насосы; 3, 7 – холодильники;
 4 – Экспанзер; 5 – теплообменник; 6 – десорбер; 8 – сепаратор; 10 – кипя-
 тильник; 11 – емкость регенерированного амина

После того как регенерированный раствор частично охладится в теплообменнике, он проходит дополнительное охлаждение при помощи воздуха или воды, после чего поступает в верхнюю часть абсорбера. Тепло, требующееся для того, чтобы насыщенный раствор регенерировался, передается ему в рибойлерах, для обогрева которых используется глухой пар низкого давления. Происходит охлаждение кислого газа, поступающего из десорбера, в результате чего содержащиеся в нем водные пары почти полностью конденсируются.

Устройство снабжено экспанзером (выветривателем) при Р очистки $>1,6$ Мпа. Здесь благодаря уменьшению давления насыщенного раствора происходит выделение физически растворенных в абсорбенте углеводородов и отчасти H_2S и CO_2 .

Это способствует сокращению расходов энергии на перекачку раствора, металлоемкости абсорбера (верхней части с меньшим диаметром), увеличению извлечения COS (если он присутствует в газе). Для этого средний поток раство-

ра подается при более высокой температуре и происходит реакция гидролиза COS.

Как мы уже отмечали, в мировой практике в сфере очистки голубого топлива от кислых частиц основная роль отводится аминным процессам. С их помощью природный газ очищается на протяжении уже не одного десятилетия, однако до сих пор эти процессы являются лидирующими. На них приходится около 70 % от совокупного количества установок.

1.4 Объект исследования

Для того чтобы очистить природный газ от примесей, содержащих серу, следует пользоваться методом химической абсорбции с использованием моноэтаноламина. На этом основании делаем вывод, что в качестве объекта исследования выступает процесс абсорбции H_2S .

Наибольшая поглощающая способность по отношению к H_2S свойственна раствору моноэтаноламина. Но данный реагент обладает несколькими значительными недостатками. Ему характерно достаточно высокое давление. Также в процессе функционирования установки аминной очистки газа он способен к образованию необратимых соединений с сероокисью углерода.

Для устранения первого недостатка используется промывка, способствующая частичному поглощению паров амина. Второй недостаток нечасто встречается при переработке промышленных газов.

Концентрация водного раствора моноэтаноламина определяется опытным методом, в соответствии с проведенными исследованиями она принимается для очистки голубого топлива из конкретного месторождения. Подбирая процентное содержание реагента, принимают во внимание его способность к противостоянию агрессивному влиянию H_2S на металлические компоненты установки.

В норме содержание абсорбирующего вещества, как правило, находится в пределах 15 - 20%. Но иногда концентрация увеличивается до 30% либо сокращается до 10% - все зависит от того, какая степень очистки требуется, то есть в

каких целях, отопительных или в изготовлении полимерных соединений, будет применяться газ [12].

Если увеличивается концентрация соединений амина, происходит сокращение коррозионных способностей H_2S . Однако следует принимать во внимание, что в данном случае реагент расходуется больше. Это приводит к увеличению цены на очищенный товарный газ.

Основной агрегат очистительной системы – это абсорбер тарельчатого либо насадного вида. Данный аппарат является вертикально ориентированным. Внешне он напоминает пробирку, а внутри него помещаются тарелки и насадки. Нижний его сектор снабжен входом, куда направляется неочищенная газовая смесь, из нижнего сектора выходит очищенный газ.

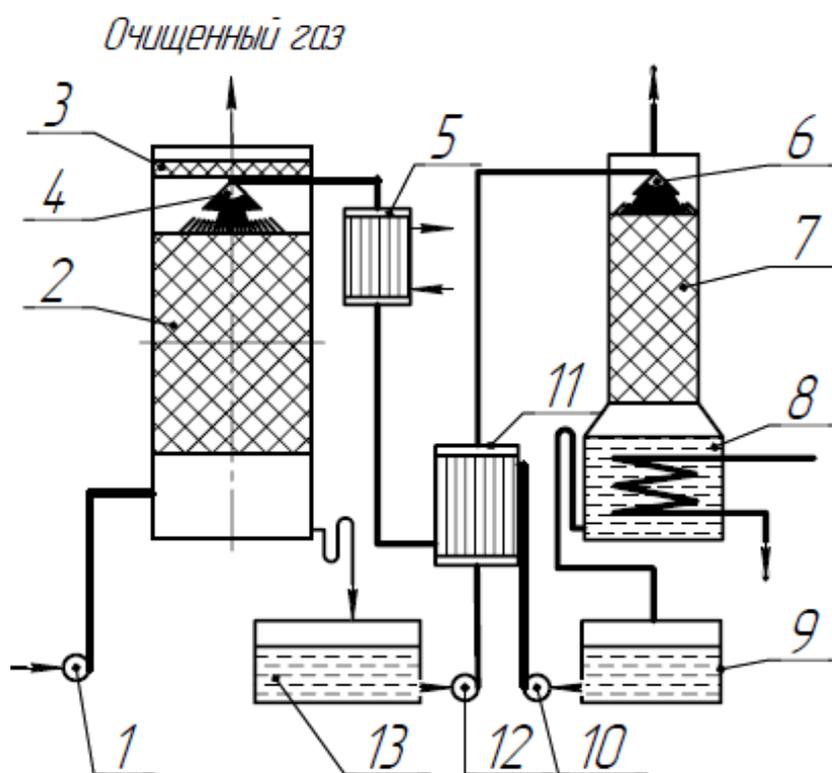


Рисунок – 4 Технологическая схема абсорбционной установки

- 1 – вентилятор; 2 – абсорбер с насадкой; 3 – брызгоотбойник;
4,6 – оросители; 5 – холодильник; 7 – десорбер; 8 – куб десорбера; 9 – емкости для абсорбента; 10,12 – насосы; 11 теплообменник – рекуператор.

Подача газа для абсорбции осуществляется при помощи газодувки 1. Газ направляется в нижний сектор, в котором происходит его равномерное распределение перед отправкой на контактный элемент, в качестве которого выступают тарелки или насадка. Из промежуточной емкости 9 при помощи насоса 10 происходит подача абсорбента в верхний сектор колонны, где происходит его равномерное распределение в поперечном сечении абсорбера за счет оросителя 4. Колонна предусмотрена для противоточного взаимодействия между жидкостью и газом. После очистки газ проходит брызгоотбойник 3 и покидает колонну. Затем происходит сток абсорбента сквозь гидрозатвор; он оказывается в промежуточной емкости 13, из которой при помощи насоса 12 подается для регенерации в десорбер 7. Перед этим он проходит подогрев, поступая в теплообменник-рекуператор 11. Поглощенный компонент исчерпывается из абсорбента в кубе 8, который обогревается чаще всего при помощи насыщенного водяного пара.

Перед отправкой абсорбента для орошения колонны он проходит теплообменник-рекуператор 11, затем происходит его дополнительное охлаждение в холодильнике 5.

При необходимости двойного удаления из подлежащего обработке голубого топлива углекислого газа и сероводорода следует осуществить двухступенчатую очистку. В этом случае используется два раствора с разной концентрацией. Данный вариант является более экономичным, чем одноступенчатая очистка.

Прежде всего осуществляется очистка газообразного топлива при помощи состава, в котором присутствует 25-35% реагента. После этого происходит очистка газа при помощи слабого водного раствора. Активное вещество в этом растворе составляет 5-12%. В результате осуществляется как грубая, так и тонкая очистка. При этом расход раствора минимален и выделяемое тепло используется в разумных пределах [13].

Типовые схемы абсорберов приводятся на рисунке 5.

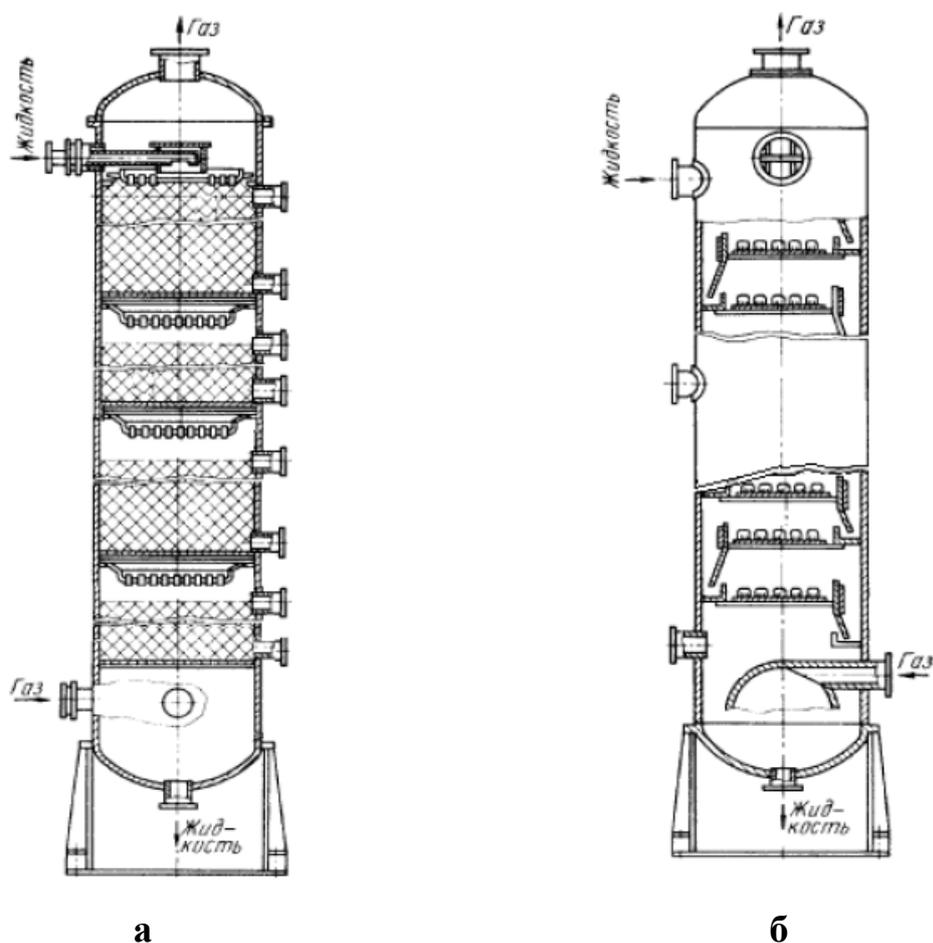


Рисунок 5 – Типовые схемы абсорберов

а) насадочная абсорбционная колонна; б) тарельчатая абсорбционная колонна

Отметим, что насадочные абсорберы имеют форму колонн, которые заполнены насадкой, уложенной в один или более слоев. Насадки могут быть в виде полиэтиленовых розеток, деревянных брусков, кусков кварца или кокса, седел, колец и пр. Выбор зависит от того, каковы свойства насадки (свободный объем и удельная поверхность). Как правило, в промышленности пользуются колоннами, диаметр которых варьируется в пределах 1000 - 3000 мм. Главные свойства насадок - площадь удельной поверхности и свободный объем.

Стекание жидкости происходит по поверхности насадки. Она стекает тоненькой пленкой и при этом происходит ее распределение в слое насадки брызгами и каплями. Если жидкость направляется на хаотично загруженную насадку, жидкость распределяется по сечению насадки по высоте слоя распределяется неравномерно. Это связано с тем, что плотность ее засыпки насадки около

стенок всегда ниже, чем по оси устройства. Поэтому происходит растекание жидкости к стенкам, при этом на определенном расстоянии от верхней части слоя орошение центра насадки бывает слабым.

Для того чтобы исключить это, насадка чаще всего засыпается в форме отдельных секций. Для того чтобы перераспределить жидкость и отвести ее от стен устройства, под каждым слоем, исключая нижний, устанавливают перераспределительную тарелку. Опорой насадки являются решетки с отверстиями, через которыми проходит газ и стекает жидкость. Газ направляется в колонну из нижней части и продвигается кверху противотоком к жидкости.

Насадочные абсорберы являются самым распространенным видом абсорбера. Их плюс заключается в их простоте, которая весьма существенна, если в работе используются агрессивные среды, потому что в данном случае необходимо исключить коррозию лишь корпуса колонны и решеток. При этом насадка может быть сделана из химически устойчивых материалов – фарфора, керамики и пр. также в сравнении с барботажными абсорберами они характеризуются существенно более низким гидравлическим сопротивлением.

Пользоваться насадочными абсорберами нельзя, если жидкости загрязненные. Если орошаемая жидкость орошается в небольших количествах (если плотность орошения низкая), не удастся достичь полной смачиваемости насадки.

Функционирование барботажных тарельчатых абсорберов тоже происходит в условиях противотока газа и жидкости. Жидкость при этом перетекает с одной тарелки на другую через сливные патрубки. В этих абсорберах происходит распределение газа между колпачками; он барботирует через слой жидкости на тарелке. Развитие поверхности контакта фаз происходит за счет потоков газа, которые распределяется в жидкости в форме струй и пузырей. Тарельчатые колонны характеризуются ступенчатостью процесса, при котором происходит последовательный контакт между газом и жидкостью на каждой отдельной ступени, или тарелке, устройства. Наряду с колпачковыми весьма распростра-

ненными стали провальные и ситчатые тарелки. Как правило, диаметр колонн варьируется в пределах 1000 - 3600 мм.

Распылительные абсорберы предусматривают образование поверхности взаимодействия фаз в процессе распыливания жидкости в газе на маленькие капли. В таких абсорберах жидкости распыляется или при помощи форсунок, также применяется кинетическая энергия движущегося потока либо вращающиеся детали.

Необходимо сказать о преимущественном использовании барботажных тарельчатых и насадочных абсорберов.

Насадочными колоннами активно пользуются при таких процессах, как ректификация, увлажнение и охлаждение газа, очистка и абсорбция.

Насадочные устройства могут функционировать в двух основных режимах:

1 В эмульгационном режиме, при котором все устройство заполняется жидкостью, а сквозь слой ее между элементами насадки происходит барботирование газа.

2 В пленочном режиме, при котором происходит сток жидкости, омываемой газом, по элементам насадки;

Насадочные колонны включают в себя следующие главные компоненты:

– приспособления, при помощи которых жидкость орошается и распределяется;

– опорные колосники;

– насадку.

Насадки могут быть:

– хордовыми (включают в себя решетки, пластины и полосы);

– насыпными (включают в себя отдельные элементы).



Рисунок 6 – Основные типы насыпных насадок:

а – кольца Рашига; б – кольца Лиссинга; в – кольца Палля;

г – седловидная насадка Берля; д – седловидная насадка «Инталлокс»

4 План размещения оборудования

Оборудование участка находится на одной отметке, на нулевом уровне.

Данное производство относится к категории А по пожаро-взрывобезопасности, т.е. пожары, связанные с горючими газами, легковоспламеняющимися жидкостями с температурой вспышки не более 28 °С.

Основными габаритными размерами являются, диаметр и высота оборудования, расположенного на площадке.

Необходимые для компоновки площадки габаритные размеры аппаратов, приведены в таблице 14.

Таблица 14 – Габаритные размеры основного оборудования

Наименование	Кол-во	Размеры, мм
Абсорбционная колонна	1	D = 2200, H = 22400,
Десорбер	1	D = 2600, H = 19500
Холодильник для охлаждения поступающего газа	1	D = 600, H = 4000
Холодильник для охлаждения регенеративного раствора	1	D = 800, H = 4000
Теплообменник для нагрева отработанного раствора	1	D = 1000; H = 6000
Холодильник-конденсатор для конденсации паров кислого газа из десорбера	1	D = 1000; H = 6000
Кипятильник	1	D = 800; H = 6000
Емкость для хранения МЭА	1	D = 3200; H = 16000
Сепаратор	1	D = 3100; H = 15300

Согласно единым правилам безопасности [14] 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 стеной и аппаратами не менее 1,5 м;
- 3) на рабочих проходах (между аппаратами) не менее 1,5 м.

Основной элемент площадки:

1. Основание.

Прочность и устойчивость любого сооружения, прежде всего, зависят от надежности основания и фундамента.

Основанием считают слои грунта, залегающие ниже подошвы фундамента и в стороны от него, воспринимающие нагрузку от сооружения и влияющие на устойчивость фундамента и его перемещения. Проектирование оснований зданий и сооружений зависит от большого количества факторов, основными из которых являются: геологическое и гидрогеологическое строение грунта; климатические условия района строительства; конструкция сооружаемого здания и фундамента; характер нагрузок, действующих на грунт основания, и т.д. Основания под фундаменты зданий и сооружений бывают естественными и искусственными.

Естественные основания – это основания представляют собой грунт, расположенный ниже уровня фундамента здания и обладающий в своем природном состоянии необходимой несущей способностью для того, чтобы обеспечить нужную или допустимую по уровню и равномерности осадки устойчивость дома.

Искусственные основания – это грунт, который в природном состоянии не имеет необходимой несущей способности на допустимой глубине заложения фундамента здания (например, подвижные грунты). Такие основания следует упрочнять искусственным образом. Осадка может быть как равномерной, так и неравномерной. Когда осадка равномерная, это значит, что все части здания оседают с одинаковой скоростью и на одинаковом уровне. Но наибольшую опасность для сохранности здания представляет не сама величина осадки, а ее неравномерность.

Фундаментом называют часть здания или сооружения, находящуюся ниже поверхности грунта (на суше) или ниже самого низкого (меженного) уровня воды в водотоке (водоеме) и предназначенную для передачи нагрузок на основание.

Основными требованиями, предъявляемыми к фундаментам, являются: прочность, устойчивость, сопротивляемость влиянию атмосферных условий и отрицательных температур, долговечность, соответствующая эксплуатационному сроку службы надземной части зданий и сооружений, экономичность.

По виду материала фундаменты бывают железобетонные, бетонные, бутовые, бутобетонные, кирпичные и деревянные. Под все ответственные здания и сооружения, как правило, устраивают железобетонные фундаменты.

Под воздействием на фундамент вертикальных нагрузок, равномерно сжимающих грунты основания, происходят перемещения зданий и сооружений, называемые осадкой. При действии на фундаменты неравномерных сжимающих нагрузок наблюдаются наклоны, именуемые кренами. Воздействие больших горизонтальных нагрузок иногда приводит к смещениям, называемым сдвигами.

Для предотвращения возможности появления недопустимых осадок, кренов или сдвигов зданий и сооружений (исходя из условия обеспечения их нормальной эксплуатации) фундаменты закладывают на некоторой глубине от дневной поверхности, чтобы передать расчетные нагрузки на более прочные грунты.

Глубина заложения фундаментов назначается в зависимости от характера грунтов, уровня грунтовых вод, глубины промерзания, капитальности здания и его конструктивных особенностей (наличия подвалов, фундаментов примыкающих зданий и т. п.).

Расчетная глубина заложения фундамента почти всегда больше величины промерзания, свойственной для данной местности, но при этом она не может быть меньше чем 0,5 м.

В качестве фундамента выбираем ленточный сборный фундамент. Он состоит из типовых железобетонных блоков, уложенных на раствор и скрепленных арматурой [15].

Основные элементы здания

1. Наружные стены здания.

Наружные стены представляют собой самонесущие стены, которые защищают внутреннее помещение здания от воздействия внешней среды. Они передают на фундамент нагрузку собственного веса, но не несут нагрузок от покрытия, крана и так далее. Стена монтируется из панелей, которые крепятся к каркасу. Общая длина панелей 24,855 м, ширина 5,5 м. Материал панелей – пенобетон [14].

2. Покрытия.

Покрытие состоит из двух основных частей: несущей и ограждающей.

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

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

3. Полы.

Все полы промышленных зданий, в силу специфики производства, должны обладать определёнными качествами. Такие требования диктуются тем, что на полы в производственных зданиях действуют большие нагрузки разного плана – от людей, а также различные ударные нагрузки, химическое и термическое воздействие и др. Поэтому первое требование к полам промышленных зданий – это повышенная износоустойчивость и большая прочность.

Следовательно, в здании используется бетонная стяжка.

Сверху полов, выкладывается линолеум (в сухих), в мокрых (душевые и др.) - выкладывается керамической плиткой [14].

4. Окна, двери.

Освещение естественным светом вспомогательных помещений было осуществлено с помощью отдельных оконных проемов размером 2360×1790 мм под типовые оконные переплеты с двойным остеклением. Размещение и форма окон приняты согласно нормам освещения [14]. Здание освещается искусственными и естественным путями.

Дверь внутренняя принята типовая, состоящая из деревянной коробки и деревянного полотна размером 0,8 × 2 м.

Во избежание больших теплопотерь отапливаемого здания и появления в них сквозняков входные двери оборудованы воздушно-тепловыми навесами [14].

5. Водоснабжение.

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

Производственный водопровод обеспечивает подачу воды, необходимой для охлаждения, нагрева газовой смеси до температуры процесса. Качество воды для производственных надобностей определяется соответствующими технологическими требованиями.

Хозяйственно-питьевая вода подается к умывальникам, для уборки помещений. Для обеспечения хозяйственно-бытовых нужд предусмотрен горячий водопровод ($t \geq 60$ °С).

Так же предусмотрен пожарный водопровод. К воде, используемой для пожаротушения не предъявляется ни каких требований и, поэтому пожарный водопровод объединяется с хозяйственным [14].

6. Канализация.

В здании предусматривается два вида канализаций – бытовая и производственная.

Внутренние сети бытовой канализации (сток из сан. узла, питьевой воды) изготавливают из чугунных труб, сети производственной канализации из керамических труб [14].

Для первичной очистки сточных вод бытовой канализации применяют:

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

Затем сточные воды поступают на биологическую очистку.

5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

В данной работе рассматривается проект абсорбционной установки непрерывного действия для поглощения сероводорода 15% р-р МЭА из газовой смеси.

5.1 Планирование потребности в человеческих ресурсах

В этом разделе определяется потребность в трудовых ресурсах по категории персонала и выполняемым функциям. Весь персонал выполняет свою работу в соответствии с должностными инструкциями. В таблице 15 представлен перечень должностей и их характеристики.

Таблица 15 – Перечень должностей и их характеристики

Должность	Кол-во работников	Образование	Стаж работы	Возраст
Основные рабочие				
оператор	2	Среднее профессиональное образование	2	25
		вспомогательные рабочие		
электрик	1	Среднее профессиональное образование	3	25
слесарь по КИПиА	1	Среднее профессиональное образование	2	25
слесарь	1	Среднее профессиональное образование	2	25
уборщик	1	не имеет значения	-	не более 55

5.2 Формирование плана и графика разработки и внедрения инженерного решения

В этом разделе определяется производственная программа предприятия, дается подробное описание производственного процесса. В данном разделе необходимо отразить следующие этапы подготовки производства, представленные в таблице 16.

Таблица 16 – Этапы подготовки производства

№ п/п	Наименование этапа	Содержание работ
1	Предпроизводственный	<ul style="list-style-type: none"> - Строительство зданий и сооружений (или их аренда) - Закупка и установка оборудования - Обустройство производственных помещений - Заключение договоров-намерений на закупку сырья и материалов, топлива, энергии - Проведение переговоров с потребителями на поставку готовой продукции
2	Освоение производственных мощностей на 100%	Отладка технологии производства продукции и внедрение товара на рынок

На основании данных этапов составляем календарный план график мероприятий, который представлен в таблице 17.

Таблица 17 – График производственных мероприятий

Мероприятия	0-ой год	1-ый год	2-ой год	3-ий год
1. Защита проекта перед инвесторами	+			
2. Кредитование	+			
3. Заключение договоров с подрядчиками и поставщиками	+			
4. Поставка оборудования, техники	+			
5. Монтаж и наладка оборудования		+		
6. Заключение договоров с поставщиками сырья, материалов, топлива, энергии		+		
7. Поставка сырья и материалов на склад		+		
8. Заключение договоров на поставки готовой продукции		+		

9. Выход на 100%-ную мощность			+	
10. Реализация готовой продукции				+

Требуемые производственные мощности для непрерывного производства рассчитываются следующим образом:

$$M = P_{\text{час}} \cdot T_{\text{эфф}} \cdot n \quad (5.1)$$

где $P_{\text{час}}$ – часовая производительность ведущего оборудования;

$T_{\text{эфф}}$ – эффективное время оборудования;

n – количество однотипного оборудования.

$$T_{\text{эфф}} = T_{\text{н}} - T_{\text{ППР}} - T_{\text{ТО}} \quad (5.2)$$

где $T_{\text{н}}$ – номинальный фонд работы оборудования;

$T_{\text{ППР}}$ – время простоя в ремонтах за расчетный период;

$T_{\text{ТО}}$ – время технологических остановок.

При непрерывном режиме работы номинальный фонд времени равен календарному: $T_{\text{н}} = T_{\text{к}} = 365 \text{ дней} = 8760 \text{ часов}$.

Определим $T_{\text{ППР}}$ по основному аппарату данные представлены в таблице 18.

Таблица 18 – Время работы между ремонтами и время простоя при ремонте

Время работы между ремонтами, час			Время простоя при ремонте, час		
Капитальный	Средний	Текущий	Капитальный	Средний	Текущий
25280	8760	1440	2160	400	16
(3 года)	(1 год)	(2 мес.)	(3 мес.)		

Общее количество ремонтов за ремонтный период:

$$R = \frac{R_{\text{ц}}}{T_{\text{т}}} \quad (5.3)$$

где $R_{\text{ц}}$ – длительность ремонтного цикла;

$T_{\text{т}}$ – пробег оборудования между текущими ремонтами.

$$R = \frac{25280}{1440} = 18 \text{ ремонта за ремонтный цикл}$$

Длительность ремонтного цикла:

$$\frac{R_{\text{ц}}}{T_{\text{н}}} = \frac{25280}{8760} = 3 \text{ года}$$

Количество средних ремонтов за ремонтный цикл:

$$R_{\text{с}} = \frac{R_{\text{ц}}}{T_{\text{с}}} - 1 \quad (5.4)$$

где $T_{\text{с}}$ – пробег оборудования между средними ремонтами;

$$R_{\text{с}} = \frac{25280}{8760} - 1 = 2 \text{ средних ремонта за ремонтный цикл}$$

Количество текущих ремонтов:

$$R_{\text{т}} = \frac{R_{\text{ц}}}{T_{\text{т}}} - R_{\text{с}} - 1 = \frac{25280}{1440} - 2 - 1 = 15 \text{ текущих ремонтов}$$

Всего ремонтов в течение расчетного времени:

$$\frac{18}{3} = 6,$$

т. е. 1 средний и 5 текущих ремонтов.

Время на ремонт оборудования в расчетный период:

$$T_{\text{ППР}} = 5 \cdot T_{\text{т}}' + T_{\text{ср}}' = 5 \cdot 16 + 400 = 480 \text{ ч}$$

Время технологически неизбежных остановок:

$$T_{\text{то}} = T_{\text{ос}} + T_{\text{п}} \quad (5.5)$$

где $T_{\text{ос}}$ – время остановки (8 ч); $T_{\text{п}}$ – время пуска (8 ч).

$$T_{\text{то}} = 8 + 8 = 16 \text{ часов}$$

Эффективный фонд работы оборудования:

$$T_{\text{эфф}} = 8760 - 480 - 16 = 8264 \text{ часов} = 345 \text{ дней}$$

Производственные мощности:

$$M = 2,2 \cdot 345 \cdot 1 = 759 \text{ кг}$$

Для определения реального выпуска продукции рассчитывается производственная программа $N_{\text{год}}$ по инвестиционным периодам.

$$N_{\text{год}} = K_{\text{им}} \cdot M, \quad (5.6)$$

где $K_{им}$ – коэффициент использования мощности.

Сводные данные по объемам продаж представлены в таблице 19, в которой план производства продукции формируется исходя из прогнозов объемов продаж на фоне конкурирующих фирм, а также на основе сопоставления результатов маркетинговых исследований рынка с производственными возможностями предприятия.

Таблица 19 – Производственная программа выпуска продукции

Наименование показателя	Величина показателей по годам		
	1-ый год	2-ой год	3-ий год
Этапы загрузки мощности, %	100	100	100
Объем производства, куб. м в год	$30000 \cdot 24 \cdot 365 =$ 262800000	$30000 \cdot 24 \cdot 365 =$ 262800000	$30000 \cdot 24 \cdot 365 =$ 262800000
Цена за единицу продукции, руб./ куб. м	6,5	6,5	6,5
Объем продаж, руб.	1 708 200 000	1 708 200 000	1 708 200 000

5.3 Обоснование необходимых инвестиций для разработки и внедрения инженерных решений

Найдем величину капитальных затрат на строительство здания:

$$C_{зд} = (C_{1м^3} \cdot V_{зд}) + C_{от} + C_{вен} + C_{вод} + C_{кан} + C_{осв}, \quad (5.7)$$

где $C_{зд}$ – стоимость здания;

$C_{1м^3}$ – стоимость одного кубического метра производственного здания составляет примерно 22 тысячи рублей;

$V_{зд}$ – объем здания составляет 122 м^3 ;

$$C_{1м^3} \cdot V_{зд} = 22000 \cdot 122 = 2684000 \text{ руб.}$$

Стоимость санитарно-технических работ:

$C_{от}$ – стоимость затрат на отопление;

$C_{вен}$ – стоимость затрат на вентиляцию;

$C_{хвс и гвс}$ – стоимость затрат на ХВС и ГВС;

$C_{вод}$ – стоимость затрат на водоотведение;

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

В таблице 20 представлены затраты на санитарно-технические работы.

Таблица 20 – Затраты на санитарно-технические работы

Затраты	Процент от затрат на постройку здания	Цена, руб.
На освещение	3,5	94608
На вентиляцию	0,7	19237
На отопление	4,77	127975
На ХВС и ГВС	2	53109
На водоотведение	1,37	36946
Итого:	12,34	331875

$$C_{зд} = 2684000 + 331875 = 3015875 \text{ рублей}$$

Расходы на оборотные средства представлены в таблице 21.

Таблица 21 – Потребность в оборотных средствах

Наименование оборотных средств	Норма расхода на единицу продукции, кг, кВт	Цена за единицу сырья, материалов, энергии, руб.	Кол-во оборотных средств на весь годовой выпуск, кг, кВт	Затраты на оборотные средства, руб.
1) Сырье				3953169
абсорбент МЭА	47480 кг/ч	100 руб/ кг	$47480 + (330 \cdot 24 \cdot 365) = 2938280$	$2938280 \cdot 100 = 293828000$
2) Электроэнергия	30 кВт/ч	4	$30 \cdot 24 \cdot 365 = 262800 \text{ кВт}$	1051200
Итого				298832369

Для организации участка необходима закупка оборудования, которое представлено в таблице 22.

Таблица 22 – Стоимость оборудования

№	Наименование оборудования	Кол.	Стоимость, руб.
1	Абсорбер диаметр 2,2 м, высотой 20 м	1	10 000000
2	Десорбер диаметр 3 м, высотой 17 м	1	4 000 000
3	Трубы г/ проводные внутренний диаметр 100 мм	37 м	500 000
4	Холодильник диаметр 0,6 м, высота 3,2 м	2	720 000
5	Теплообменник диаметр 0,63 м, высота 3 м	1	450000
6	Холодильник-конденсатор диаметр 0,63 м, высота 3 м	1	350000
7	Кипятильник диаметр 0,6 м, высота 2,5 м	1	340000
8	Сепаратор диаметр 2,2 м, высота 7,6 м	1	1 200 000
9	Конденсатоотводчик	1	72000
10	Консольный центробежный насос марки X – E-80-50-200 а-55-КУ2	2	180000
11	Емкость РГС-125, объем 125 м ³ , длина 16м, диаметр 3,2 м	1	1000 000
12	Турбокомпрессор ТВ-500-1,08 с	4	400000
13	Трубы диаметром 20 мм толщина стенки 2 мм	948 м	427000
	итого		19639000

Итого стоимость оборудования составит 19 639 000 рублей.

Дополнительно нужно учесть затраты на монтаж и установку оборудования. В таблице 23 представлены нормативы на наладку и монтаж оборудования.

Таблица 23 – Расходы на монтаж и наладку оборудования

Наименование нормативов	% от стоимости оборудования	Затраты, руб.
1. На устройство фундаментов	10	1963900
2. На технологические трубопроводы	20	3927800
3. На антикоррозионные работы	5	981950

4. На кабельные разводки	5	981950
5. На КИПиА	10	1963900
6. На монтаж оборудования	22	4320580
7. На вспомогательное оборудование	5	981950
итого	77	15122030

Итого расходы на монтаж и наладку оборудования составят 15122030 рублей.

Для определения численности рабочих необходимо установить годовой фонд времени одного среднесписочного рабочего. В непрерывных производствах с 8-часовым рабочим днем работа осуществляется четырьмя производственными бригадами. Сменность бригад отображена в таблице 24.

Таблица 24 – График сменности бригад

№ смены	Часы работы	Дни месяца															
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	0-8	А	А	А	А	Б	Б	Б	Б	В	В	В	В	Г	Г	Г	Г
2	8-16	В	Г	Г	Г	Г	А	А	А	А	Б	Б	Б	Б	В	В	В
3	16-24	Б	Б	В	В	В	В	Г	Г	Г	Г	А	А	А	А	Б	Б
Отдых:		Г	В	Б	Б	А	Г	В	В	Б	А	Г	Г	В	Б	А	А

где А,Б,В,Г – бригады.

Длительность сменооборота:

$$T_{см} = n_б \cdot T_M \quad (5.8)$$

где $n_б$ – число бригад;

T_M – число дней, когда бригада ходит в смену (4 дня).

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

За длительность сменооборота бригада отдыхает 4 дня, за год 91 день. Таким образом, на одного среднесуточного рабочего приходится 91 выходной

день. Составим баланс рабочего времени среднесуточного рабочего, с целью определения фонда рабочего времени.

В таблице 25 представлен баланс эффективного времени одного среднесписочного работника.

Таблица 25 – Баланс рабочего времени среднесписочного работника

№ п/п	Показатель	Дни	Часы
1	Календарное число дней	365	8760
2	Нерабочие дни, выходные	91	2184
3	Номинальный фонд рабочего времени	274	6576
4	Планируемые выходные:		
	А) очередные и дополнительные отпуска	24	576
	Б) по болезни	12	288
	В) выполнение общественных обязанностей	1	24
	Г) отпуск в связи с учебой	14	336
	ИТОГО:	36	1224
6	Эффективный фонд рабочего времени	223	5352

Эффективный фонд рабочего времени составит:

$$T_{\text{эф}} = 223 \cdot 8 = 1784 \text{ часа}$$

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

Определим явочное число основных рабочих в сутки:

$$N_{\text{яв}} = \frac{1}{N_{\text{ОБС}}} \cdot n \cdot S \quad (5.9)$$

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

n – количество установок;

S – количество смен в сутки.

$$N_{\text{яв}} = \frac{1}{3} \cdot 6 \cdot 3 = 6 \text{ чел.}$$

Для определения списочной численности вспомогательных рабочих воспользуемся следующим соотношением:

$$N_{\text{СП}} = N_{\text{яв}} \cdot \frac{T_{\text{эф.об}}}{T_{\text{эф.раб}}} \quad (5.10)$$

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

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

$$N_{\text{СП}} = 6 \cdot \frac{337}{223} = 9 \text{ чел.}$$

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

$$K_{\text{пер}} = \frac{T_{\text{раб.об}}}{T_{\text{раб.дн}}} = 1,51 \text{ чел.} \quad (5.11)$$

$$N_{\text{яв}} = \frac{1}{5} \cdot 5 \cdot 3 = 3 \text{ чел./сут.}$$

$$N_{\text{СП}} = N_{\text{яв}} \cdot K = 3 \cdot 1,51 = 5 \text{ чел.}$$

Расчет численности специалистов, руководителей и служащих производится в связи с потребностью участка в каждой группе работников. Обобщим все полученные значения в таблице 26.

Таблица 26 – Численность руководителей, специалистов и служащих

Категория персонала	Норма обслуживания, $N_{обс}$	Число смен в сутки, S	Явочная численность, $N_{яв}$	Списочная численность, $N_{сп}$
Основные рабочие	3	3	5	9
Вспомогательные рабочие	3	3	3	5
ИТР	-	-	-	-
Служащие	-	-	-	-
МОП	-	-	1	1
Руководители	-	-	-	-

5.4 Расчет годового фонда заработной платы

5.4.1 Расчет заработной платы основных рабочих

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

Основной фонд (ЗП):

$$Z_{осн.} = Z_{тар} + D_{прем} + D_{нв.} + D_{пр.+} + D_{р} + D_{вр} + D_{вв} \quad (5.13)$$

где $Z_{тар}$ – тарифный фонд;

$D_{прем}$ – доплата премий;

$D_{нв}$ – доплаты за ночные смены;

$D_{рук}$ – доплата за руководство в размере 20 процентов;

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

$D_{вр}$ – доплата за вредность;

$D_{вв}$ – доплата за вечернее время.

Тарифный фонд:

$$Z_{тар} = N_{сп} \cdot T_{ст} \cdot T_{эф} \quad (5.14)$$

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

$T_{ст}$ для 6-го разряда – 165 руб./час;

$$Z_{тар}^6 = 9 \cdot 1784 \cdot 165 = 2649240 \text{ руб.};$$

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

$$D_{\text{нв}} = N_{\text{сп}} \cdot 0,4 \cdot (T_{\text{ст}} \cdot t_{\text{нв}} \cdot N_{\text{нс}}), \quad (5.15)$$

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

$N_{\text{нс}}$ – количество ночных смен, дни;

$$D_{\text{нв}} = 9 \cdot 0,4 \cdot (165 \cdot 81 \cdot 8) = 384912 \frac{\text{руб}}{\text{год}}.$$

Доплата за работу в вечернее время осуществляется отчислением 35% от тарифной ЗП:

$$D_{\text{нв}} = N_{\text{сп}} \cdot 0,35 \cdot (T_{\text{ст}} \cdot t_{\text{вв}} \cdot N_{\text{вс}}), \quad (5.16)$$

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

$N_{\text{вс}}$ – количество ночных смен, дни;

Доплата за вечернее время для основного персонала составит:

$$D_{\text{вв}} = 9 \cdot 0,35 \cdot (165 \cdot 81 \cdot 8) = 336798 \frac{\text{руб}}{\text{год}}.$$

Доплата премий – 30% от тарифной ЗП:

$$D_{\text{прем}} = 0,3 \cdot Z_{\text{тар}} = 0,3 \cdot 2649240 = 794772 \text{ руб.} \quad (5.16)$$

Доплата за вредность для основного персонала составит:

$$D_{\text{вр}} = 0,15 \cdot 2649240 = 397386 \frac{\text{руб}}{\text{год}}.$$

Доплата за работу в праздничные дни.

Принято 14 праздничных дней в году. Доплата в праздничные дни осуществляется по двойным тарифным ставкам:

$$D_{\text{пр}} = T_{\text{пр}} \cdot T_{\text{ст}} \cdot N_{\text{яв}} \quad (5.17)$$

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

$$D_{\text{пр}} = 14 \cdot 9 \cdot 330 \cdot 8 = 332640 \text{ руб.}$$

$$Z_{\text{осн.}} = 2649240 + 384912 + 336798 + 794772 + 397386 + 332640 + 0,2 \cdot 2649240 = 5425596 \text{ руб.}$$

$$Z_{\text{доп}} = \frac{D_{\text{н}} \cdot Z_{\text{осн}}}{T_{\text{эф}}} = \frac{36 \cdot 5425596}{1784} = 109485,12 \text{ руб.} \quad (5.18)$$

где $D_{нв}$ – количество дней невыхода на работу по планируемыми причинам (отпуск, ученические и т.д)

Годовой фонд заработной платы основных рабочих:

$$Z_{общ} = 1,3 \cdot (Z_{осн} + Z_{доп}) = (5425596 + 109485,12) \cdot 1,3 = 7195605,46 \text{ руб.} \quad (5.19)$$

5.4.2 Расчет заработной платы вспомогательных рабочих

Расчет фонда заработной платы вспомогательных рабочих находится, как и фонд заработной платы основных рабочих по формуле 5.13.

Тарифный фонд:

$$Z_{тар} = N_{сп} \cdot T_{ст} \cdot T_{эф} \quad (5.20)$$

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

$T_{ст}$ для 5-го разряда – 148 руб./час;

Зарплата по тарифным ставкам рабочих 5 разряда:

$$Z_{тар}^5 = 5 \cdot 1784 \cdot 148 = 1320160 \text{ руб.};$$

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

$$D_{нв} = N_{сп} \cdot 0,4 \cdot T_{ст} \cdot t_{нв} \cdot N_{нс} \quad (5.21)$$

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

$$D_{нв} = 5 \cdot 0,4 \cdot (148 \cdot 81 \cdot 8) = 191808 \text{ руб.}$$

Доплата за работу в вечернее время осуществляется отчислением 35% от тарифной ЗП:

$$D_{вв} = N_{сп} \cdot 0,35 \cdot (T_{ст} \cdot t_{вв} \cdot N_{вс}), \quad (5.16)$$

где $t_{вв}$ – время вечерней работы (определяется по графику сменности);

$N_{вс}$ – количество ночных смен, дни;

Доплата за вечернее время для вспомогательного персонала составит:

$$D_{вв} = 5 \cdot 0,35 \cdot (148 \cdot 81 \cdot 8) = 167832 \frac{\text{руб}}{\text{год}}.$$

Доплата за вредность для вспомогательного персонала составит:

$$D_{вр} = 0,15 \cdot 1320160 = 198024 \frac{\text{руб}}{\text{год}}.$$

Доплата премий – 30% от тарифной ЗП:

$$D_{\text{прем}} = 0,3 \cdot Z_{\text{тар}} = 0,3 \cdot 1320160 = 396048 \text{ руб.}$$

Доплата за работу в праздничные дни.

Принято 14 праздничных дней в году. Доплата в праздничные дни осуществляется по двойным тарифным ставкам:

$$D_{\text{пр}} = T_{\text{пр}} \cdot T_{\text{ст}} \cdot N_{\text{яв}} \quad (5.22)$$

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

$$D_{\text{пр}}^6 = 14 \cdot 8 \cdot 296 \cdot 5 = 165760 \text{ руб.};$$

$$Z_{\text{осн}} = 1320160 + 191808 + 167832 + 198024 + 396048 + 165760 = 2439632 \text{ руб.}$$

Рассчитаем дополнительную зарплату.

$$Z_{\text{осн}} = \frac{D_{\text{н}} \cdot Z_{\text{осн}}}{T_{\text{эф}}} = \frac{36 \cdot 2439632}{1784} = 49230,24 \text{ руб}$$

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

Годовой фонд заработной платы вспомогательных рабочих:

$$Z_{\text{общ}} = 1,3 \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}) = 1,3 \cdot (2439632 + 49230,24) = 3235520,91 \text{ руб.}$$

5.4.3 Расчет заработной платы МОП

Оклады служащих, устанавливаются в зависимости от категории участка.

1) Уборщица – 20000 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 МОП принимаем равным 11 месяцев.

$$\Phi_{\text{осн}} = 1 \cdot 11 \cdot 20000 = 220000 \text{ руб.}$$

Доплата премий – 30% от тарифной ЗП:

$$D_{\text{прем}} = 0,3 \cdot Z_{\text{тар}} = 0,3 \cdot 220000 = 66000 \text{ руб.}$$

Доплата за работу в праздничные дни.

Принято 14 праздничных дней в году. Доплата в праздничные дни осуществляется по двойным тарифным ставкам:

$$D_{\text{пр}} = T_{\text{пр}} \cdot T_{\text{ст}} \cdot N_{\text{яв}} \quad (5.22)$$

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

$$D_{\text{пр}}^6 = 14 \cdot 1200 \cdot 1 \cdot 8 = 134400 \text{ руб.};$$

$$Z_{\text{осн.}} = 220000 + 134400 + 66000 = 420400 \text{ руб.}$$

Рассчитаем дополнительную зарплату.

$$Z_{\text{доп}} = \frac{D_{\text{н}} \cdot Z_{\text{осн}}}{T_{\text{эф}}} = \frac{36 \cdot 420400}{1784} = 8483,40 \text{ руб}$$

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

Годовой фонд заработной платы МОП:

$$Z_{\text{общ}} = 1,3 \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}) = 1,3 \cdot (420400 + 8483,4) = 557548,43 \text{ руб.}$$

Тогда суммарный фонд заработной платы для всего персонала участка абсорбционной очистки от сероводорода с учётом районного коэффициента составит:

$$\sum \Phi_{\text{ЗП/год}} = 7195605,46 + 3235520,91 + 557548,43 = 10988674,8 \frac{\text{руб}}{\text{год}}$$

Налог во внебюджетные фонды ($H_{\text{внф}}$) составляет 30 % от суммарного годового фонда заработной платы:

$$H_{\text{внф}} = 0,3 \cdot 10988674,8 = 3296602,44 \frac{\text{руб}}{\text{год}}.$$

Расходы на травматизм ($P_{\text{травм}}$) составляют 8,5 % от суммарного годового фонда заработной платы:

$$P_{\text{травм}} = 0,085 \cdot 10988674,8 = 934037,358 \frac{\text{руб}}{\text{год}}.$$

Расходы на технику безопасности и охрану труда ($P_{\text{тбот}}$) составляют 10 % от суммарного годового фонда заработной платы:

$$P_{\text{тбот}} = 0,1 \cdot 10988674,8 = 1098867,48 \frac{\text{руб}}{\text{год}}.$$

5.4.4 Технологические затраты

Расходы на освещение помещения определяются по формуле:

$$Z_{\text{осв}} = (40 \cdot n \cdot M \cdot t/1000) \cdot Ц, \text{ руб.}, \quad (5.26)$$

где 100 – мощность одной лампы Camelion 100 (Вт);

n – количество ламп Camelion 100;

M – количество часов искусственного освещения в сутки;

t – число дней работы производства в году.

Ц – стоимость 1 кВт·часа электроэнергии – 4 руб.

$$Z_{\text{осв}} = (100 \cdot 27 \cdot 24 \cdot 365 / 1000) \cdot 4 = 94608 \text{ руб.}$$

Расходы на вентиляцию помещения определяются по формуле:

$$Z_{\text{вент}} = \left(0,5 \cdot V \cdot K \cdot \frac{T_{\text{кал}}}{1000} \right) \cdot Ц, \quad (5.20)$$

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

V – внутренний объём помещения, м³, (366);

K – кратность обмена воздухом, (K = 3);

T_{кал} – календарный фонд времени, ч, (8760);

Ц – стоимость 1 кВт/ч электроэнергии (для Томска 4 руб.).

$$Z_{\text{вент}} = \left(0,5 \cdot 366 \cdot 3 \cdot \frac{8760}{1000} \right) \cdot 4 = 19236,96 \frac{\text{руб}}{\text{год}}$$

Затраты на отопление помещения определяются следующим образом:

$$Z_{\text{отоп}} = (a \cdot T \cdot V) \cdot Ц, \text{ руб.} \quad (5.27)$$

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

V – объём отапливаемого помещения;

T – продолжительность отапливаемого сезона;

Ц – стоимость 1 Гкал тепла – 1942,54 руб.

$$Z_{\text{отоп}} = (0,02 \cdot 366 \cdot 9) \cdot 1942,54 = 127974,535 \text{ руб.}$$

Расходы на холодное водоснабжение (ХВС) и горячее водоснабжение (ГВС) для бытовых и хозяйственных нужд рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{вс}} = N \cdot Q_{\text{в}} \cdot Ц_{\text{в}} \cdot T_{\text{рп}}, \quad (5.23)$$

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

N – число сотрудников в сутки, чел (15 чел);

Q_B – расход воды на одного человека в смену, $\text{м}^3/\text{чел.}$, ($0,15 \text{ м}^3/\text{чел}$ – для ХВС и $0,075 \text{ м}^3/\text{чел}$ – для ГВС);

C_B – стоимость питьевой воды, $\text{руб.}/\text{м}^3$, ($45,95 \text{ руб.}/\text{м}^3$ – для ХВС и $65,46 \text{ руб.}/\text{м}^3$ – для ГВС);

$T_{\text{РП}}$ – общее количество дней работы персонала, дни, (300 дней).

Для ХВС затраты составят:

$$Z_{\text{ХВС}} = 15 \cdot 0,15 \cdot 45,95 \cdot 300 = 31016,25 \frac{\text{руб}}{\text{год}}$$

Для ГВС затраты составят:

$$Z_{\text{ГВС}} = 15 \cdot 0,075 \cdot 65,46 \cdot 300 = 22092,75 \frac{\text{руб}}{\text{год}}$$

Суммарные затраты на водоснабжение для бытовых и хозяйственных нужд составит:

$$Z_{\text{ВС}} = Z_{\text{ХВС}} + Z_{\text{ГВС}} = 31016,25 + 22092,75 = 53109 \frac{\text{руб}}{\text{год}}$$

Расходы на водоотведение рассчитываются по формуле:

$$Z_{\text{ОТВ}} = N \cdot V_B \cdot C_{\text{ОТВ}} \cdot T_{\text{РП}} \quad (5.24)$$

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

V_B – объём потребления холодной и горячей воды, $\text{м}^3/\text{сут.}$, ($0,225 \text{ м}^3/\text{сут}$);

$T_{\text{РП}}$ – общее количество дней работы персонала, дни, (300 дней).

N – число сотрудников в сутки, чел (15 чел);

$C_{\text{ОТВ}}$ – тариф на водоотведение за м^3 , ($36,49 \text{ руб.}/\text{м}^3$);

$$Z_{\text{ОТВ}} = 0,225 \cdot 300 \cdot 36,49 \cdot 15 = 36946,125 \frac{\text{руб}}{\text{год}}$$

5.4.5 Расчет амортизации и себестоимости

Сумма амортизационных отчислений (АО) определяется по формуле:

$$\text{АО} = P_M \cdot N/100\% \quad (5.25)$$

где P_M – расходы на монтаж и наладку оборудования, руб. ;

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

$$AO = 15122030 \cdot 10/100 = 1512203 \text{ руб./год};$$

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

$$\Phi_{т.р} = 19639000 \cdot 0,15 = 2945850 \text{ руб./год.}$$

Расходы на содержание составляют 5 % от стоимости оборудования:

$$Z_{\text{сод}} = 19639000 \cdot 0,05 = 981950 \text{ руб./год.}$$

Рассчитаем затраты на содержание, ремонт и амортизационные отчисления для здания. Принимаем, что затраты на ремонт и содержание здания составляют 3 % от стоимости строительства здания, а амортизационные отчисления составляют 5 % (период эксплуатации здания – 20 лет), тогда:

$$A_{\text{рем+сод зд}} = 3015875 \cdot 0,03 = 90476,25 \frac{\text{руб}}{\text{год}}$$

$$A_{\text{амор зд}} = 3015875 \cdot 0,05 = 150793,75 \frac{\text{руб}}{\text{год}}$$

Тогда суммарные затраты на эксплуатацию и содержание здания:

$$A_{\text{рем+сод зд}} + A_{\text{амор зд}} = 90476,25 + 150793,75 = 241270 \frac{\text{руб}}{\text{год}}$$

Сведем все полученные затраты в таблицу 27, для определения плановой себестоимости продукции в форме калькуляции себестоимости на единицу продукции и на годовой ее выпуск.

Таблица 27 – Калькуляция себестоимости на 1 кг абсорбируемого вещества и годовой выпуск

Наименование статей расхода	Ед. изм.	Затраты, руб.	
		На 1 м ³	На N _{год}
1	2	3	4
Сырье	кг	0,0150425	3953169
Энергия на технологические цели	кВт	0,004	1051200
Расходы на содержание оборудования	Руб.	0,0037	981950
Амортизация активной части основ-	Руб.	0,011	2945850

ных фондов (АЧОФ)			
Амортизационные отчисления	Руб.	0,0057	1512203
Суммарные затраты на ремонт и содержание оборудования	Руб.	0,0149	3927800
Амортизация эксплуатации и содержания здания	Руб.	0,00091	241270

Таблица 28 – Условно переменные затраты

Статьи затрат	Сумма руб./год
Затраты на исходные реагенты	298832369
Транспортно-заготовительные расходы на доставку исходных реагентов (5 % от стоимости)	14691400
Годовая заработная плата для основного персонала, работающего по тарифной системе	7195605,46
Отчисления во внебюджетные фонды для основного персонала	2770308,1
Годовая заработная плата для вспомогательного персонала, работающего по тарифной системе	3235520,91
Отчисления во внебюджетные фонды для вспомогательного персонала	1245675,55
Итого	327970879

Таким образом, годовые условно-переменные затраты для разрабатываемого участка абсорбционной очистки составят 327970879 руб./год.

В результате проведённых ранее экономических расчётов составлена таблица условно-постоянных затрат, в которой отражается заработная плата для персонала, работающего по окладу, годовые расходы на содержание и эксплуатацию здания, оборудования, а также стоимость данного технологического оборудования. (таблица 29).

Таблица 29 – Условно постоянные затраты

Статьи затрат	Сумма руб./год
Годовая заработная плата для МОП персонала, работающего по окладу	557548,43
Отчисления во внебюджетные фонды для МОП персонала, работающего по окладу	214656,14
Расходы на ТБ и ОТ	1098867,47

Затраты на оборудование	19639000
Затраты на санитарно-технические работы	331875
Затраты на суммарную амортизацию	5440003
Итого	27281950

Таким образом, годовые условно-постоянные затраты для разрабатываемого участка составят 27281950 руб./год.

Себестоимость для участка абсорбционной очистки от сероводорода составляет:

$$Z_{\text{ус.пер}} + Z_{\text{ус.пост}} = 327970879 + 27281950 = 355252829 \frac{\text{руб}}{\text{год}}$$

Стоимость переработки одного куб.м составляет 1,35 руб.

Вычисление точки безубыточности производится по формуле:

$$Q_{\text{ТБ}} = \frac{Z_{\text{пост}}}{C_i - Z_{\text{пер}}} \quad (5.28)$$

где $Z_{\text{пост}}$ – постоянные затраты на весь выпуск продукции, руб.

$Z_{\text{пер}}$ – переменные затраты на единицу продукции, руб./м³

C_i – цена единицы продукции, руб./м³

Таким образом, точка безубыточности равна следующему объему продаж:

$$Q_{\text{ТБ}} = \frac{27281950}{3 - 1,247} = 15563006,3 \text{ м}^3/\text{год}$$

Полная себестоимость очистки 1 куб. м товарного попутного газа от сероводорода составляет 1,35 руб. при отпускной цене 3 руб. за м³.

Тогда чистая прибыль составит:

$$\Pi = (262800000 - 15563006,3) \cdot (3 - 1,247) = 433406450 \text{ руб.}$$

На рисунке 18 представлен график безубыточности производства.

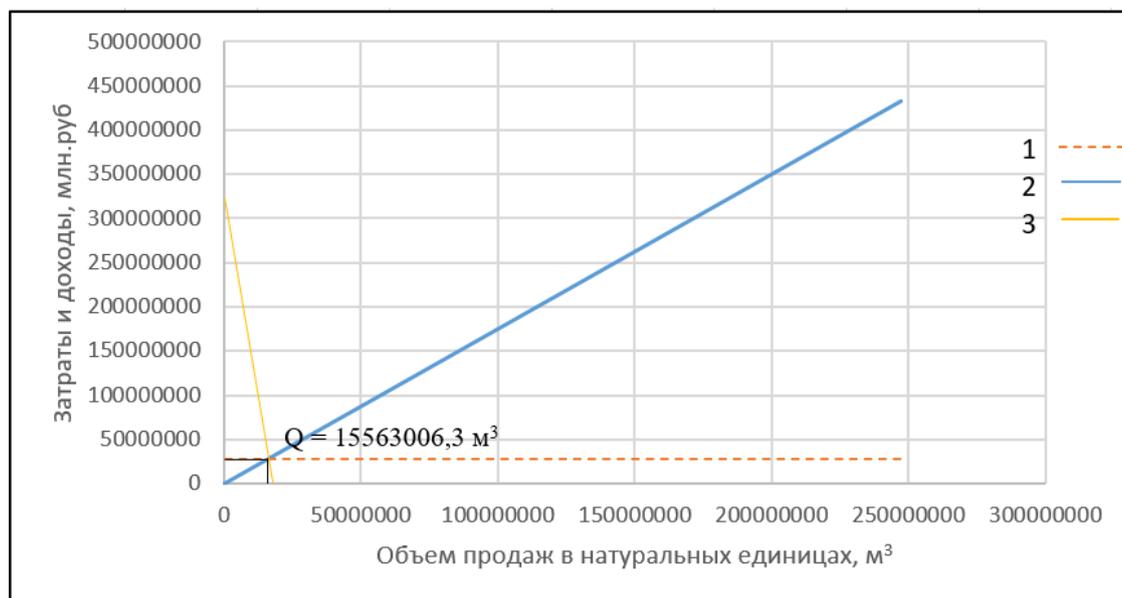


Рисунок 18 – График безубыточности производства

5.4.6 Вывод по разделу

В данной главе для разрабатываемого участка абсорбционной очистки природного газа от сероводорода были произведены расчеты:

1. Годовых фондов заработной платы для персонала;
 2. Затрат на реализацию проекта, а также содержание здания, участка и основного технологического оборудования, определены амортизационные отчисления основных средств производства;
 3. Основных технологических затрат и затрат на приобретение реагентов.
- Рассчитана себестоимость передела, точка безубыточности $Q = 15563006,3 \text{ м}^3/\text{год}$ и построен график для ее графического определения.

Себестоимость очистки 1 м^3 попутного газа от сероводорода составляет 1,35 руб.

Основные затраты приходятся на сырье для производства, оборудование, заработную плату рабочим.

6 Социальная ответственность

Целью данного проекта является проектирование насадочного абсорбера для извлечения сероводорода из природного газа на НПЗ. Актуальность данного исследования обосновывается тем, что от конструкции данного аппарата зависит чистота и экологичность продукта на выходе. Повышение безопасности при работе с высокоопасными веществами такими как сероводород является одной из основных задач эксплуатации химически опасных объектов.

Потенциальными пользователями разрабатываемого решения являются НПЗ, географически расположенные на территории сибирского федерального округа такие как АО АНПЗ ВНК, Александровский нефтеперерабатывающий завод (АНПЗ), Томский нефтеперерабатывающий завод (Томский НПЗ) и другие.

6.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Условия труда по степени вредности и опасности подразделяются на четыре класса – оптимальные, допустимые, вредные и опасные условия труда. Условия труда на НПЗ относят к третьему классу в котором вредными условиями труда являются условия, при которых уровни воздействия вредных и опасных производственных факторов превышают уровни, установленные нормативами условий труда.

Работа на НПЗ предполагает наличие специальной оценки условий труда которая представляет из себя комплекс мероприятий, направленных на определение вредных и опасных факторов производственной среды и трудового процесса, а также на оценку уровня их воздействия на работников.

Условия труда нефтеперерабатывающих предприятий характеризуются воздействием вредных факторов производственной среды и трудового процесса, соответствующие на большинстве рабочих мест классам 3.1-3.2.

Согласно трудовому кодексу РФ и федеральному закону РФ «О специальной оценке условий труда» работникам категории 3 предусматриваются:

- Ежегодный оплачиваемый отпуск. Работники, работающие во вредных условиях труда с классами 3.2 ÷ 4 имеют дополнительно оплачиваемый отпуск в количестве не менее 7 календарных дней [ТК РФ Статья 117];
- Оплата труда работников, занятых во вредных и опасных условиях труда. Для таких работников заработная плата уплачивается в повышенном размере, не менее 4% от установленного оклада [ТК РФ Статья 147];
- Обеспечение работников средствами индивидуальной и коллективной защиты [ТК РФ Статья 221];
- Предварительные и периодические медицинские осмотры для работников, занятых на работах с вредными и опасными условиями труда [ТК РФ 213].

На рабочем месте проводятся инструктажи и стажировки для получения работниками допуска к самостоятельной работе, также организация периодически проводит проверку знаний по охране труда у персонала.

Работодатели обязуются обеспечить своим подчиненным социальное страхование от возможных производственных несчастных случаев и в случае возникновения профессионального заболевания. Данный вид страхования регламентируется согласно [34, 35].

На НПЗ расположены рабочие места большого количества рабочего персонала занимающегося разного рода деятельности, рассмотрим компоновку рабочего места технологического оператора. Основная работа оператора сводится к наблюдению и контролю технологического процесса на персональном компьютере.

Оптимальное положение оператора достигается путем регулирования высоты рабочей поверхности, сиденья и пространства для ног, поддержанием рациональной рабочей позы при работе на ПК конструкцией кресла, оптимальным расположением экрана (должен находиться на расстоянии 600 - 700 мм от глаз). На рабочем месте должны быть обеспечены нормы микроклимата помещений, а размер самого помещения должен быть не менее 6 м². Рекомендуемая продолжительность рабочего времени за экраном монитора 4 часа исходя из вось-

ми часового рабочего дня. Перечисленные требования к рабочей зоне также применимы к рабочей зоне проектировщика.

6.2 Производственная безопасность

В данном пункте анализируются вредные и опасные факторы, которые могут возникать при разработке, изготовлении или эксплуатации проектируемой абсорбционной колонны.

Перечень опасных и вредных факторов, характерных для описанной рабочей среды представлены в таблице 28.

Таблица 28 – Возможные опасные и вредные факторы

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ			Нормативные документы
	Разработки	Изготовление	Эксплуатация	
Повышенный уровень шума		+	+	1. ГОСТ 12.1.003-2014 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности [26]. 2. СН 2.2.4/2.1.8.562–96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории застройки [37]
Недостаточная освещенность рабочей зоны	+	+	+	3. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278–03. Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещённому освещению жилых и общественных зданий [38]. 4. СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95 [39].
Отклонение параметров микроклимата	+	+	+	5. ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны [40]. 6. СанПиН 2.2.4.548–96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений [41].
Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может пройти через тело человека	+	+	+	7. ГОСТ 12.1.030-81 ССБТ. Электробезопасность. Защитное заземление, зануление [42]. 8. СанПиН 2.2.4.3359–16. Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах [43].

6.3 Анализ опасных и вредных факторов

6.3.1 Повышенный уровень шума

Шум негативно влияет на нашу нервную систему, сокращает среднюю продолжительность жизни, становится причиной возникновения многих опасных болезней.

Шум с физиологической точки зрения – это любой нежелательный для человеческого слуха звук, который негативно действует на наше здоровье. Если рассматривать шум с физической точки зрения, то он представляет собой беспорядочное сочетание звуков различной интенсивности и частоты.

Шум создается работающим оборудованием, в нашем случае основными источниками шума являются работающие насосы, вентиляторы, сам процесс массообмена в колонне и т.д.

Уровень шума на рабочем месте регламентируется согласно [37].

Таблица 29 – Допустимые значения уровней звукового давления в октавных полосах частот и уровня звука

Назначение помещений или территории	Уровни звукового давления (эквивалентные уровни звукового давления), дБ, в октавных полосах частот со среднегеометрическими частотами, Гц									Экв. уровень звука, дБА	Максимальный уровень звука, дБА
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000		
Производственные помещения	102	90	82	77	73	70	68	66	64	75	90

В производственных помещениях для снижения уровня шума применяют различные методы наиболее эффективным из которых является борьба с шумом в источнике его возникновения.

В соответствии с СН 2.2.4/2.1.8.562–96 [37] для снижения уровня шума в производственных помещениях предусмотрено:

1. Использование переходов и гибких вставок для плавного соединения воздуховодов с вентиляционным агрегатом;
2. уменьшения сопротивления сети (4 - 8 м/с) воздуховодов путем подбора диаметров по средним скоростям в магистральных воздуховодах;
3. использование огражденных помещений для расположения в них вентагрегатов, проведение виброизоляции вентагрегатов;
4. подвод питания к электродвигателям по гибким кабелепроводам;
5. монтаж насосов и химического оборудования беспрокладочным методом с применением установочных винтов, удаляемых после подливки.

6.3.2 Освещение

Используемое оборудование для освещения должно обеспечивать безопасность и результативность труда рабочих. Неудовлетворительное освещение может влиять на функционирование зрительного аппарата, на психику человека, его эмоциональное состояние, вызывать усталость центральной нервной системы, возникающей в результате прилагаемых усилий для опознания четких или сомнительных сигналов.

Основные причины плохой освещенности на рабочих местах:

- отсутствие контроля за соблюдением норм искусственной освещенности на рабочих местах;
- неправильное расположение ламп общего и местного освещения;
- недостаточное количество ламп и их нерегулярная замена;
- нерегулярная чистка плафонов ламп;
- смешивание типов и видов ламп;
- перепады напряжения в сети;

На НПЗ имеются служебные помещения такие как, научные лаборатории, насосные помещения, производственные помещения, тамбуры и лестничные клетки.

Каждому из них, по таблицам 4.1 и 4.2 СП 52.13330.2016 [39], соответствуют разряды зрительных работ. Наибольшее освещение требуется в помеще-

ниях лабораторий, разряд зрительных работ А-2 (400 лк), разряд зрительных работ 3-1 (30 лк) соответствует помещениям с лестничными клетками и пролетами и требует наименьшего освещения.

Работы, проводимые на участке абсорбции, относятся к общему наблюдению за ходом технологического процесса (VIII разряд), в которых объект различения составляет более 5 мм [40].

Проектирование искусственного освещения осуществляется в соответствии с действующими строительными нормами и правилами СНиП.

При несоответствии искусственного освещения установленным нормам и правилам необходимо проводить такие мероприятия как увеличение числа ламп в рабочей зоне, замена ламп на более мощные, разработка мероприятий по модернизации или замене действующей системы освещения, реконструирование осветительных установок.

Найдем число необходимых светильников для здания:

$$n = \frac{E \cdot S \cdot Z \cdot K}{F \cdot U \cdot m}$$

где E – нормированная освещенность (300);

S – площадь помещения (122 м²);

Z – поправочный коэффициент светильника (1,2);

K – коэффициент запаса, учитывающий снижение освещенности при эксплуатации (1,2);

F – световой поток одной лампы (1000);

U – коэффициент использования (1);

m – число ламп в светильнике (2).

$$n = \frac{300 \cdot 122 \cdot 1,2 \cdot 1,2}{1000 \cdot 1 \cdot 2} = 26,352$$

Округляем значение до ближайшего большего числа (27 шт). Таким образом количество необходимых светильников участка равно 27. Для лучшего освещения необходимо предусмотреть оконные проемы в здании.

Найдем число необходимых светильников для площадки:

E – нормированная освещенность (300);

S – площадь участка (408 м^2);

Z – поправочный коэффициент светильника (1,2);

K – коэффициент запаса, учитывающий снижение освещенности при эксплуатации (1,2);

F – световой поток одной лампы (2300);

U – коэффициент использования (1);

m – число ламп в светильнике (2).

$$n = \frac{300 \cdot 408 \cdot 1,2 \cdot 1,2}{2300 \cdot 1 \cdot 2} = 38,3$$

Округляем значение до ближайшего большего числа (39 шт). Таким образом количество необходимых светильников участка равно 39.

В производственных помещениях, помимо основного рабочего освещения, должно устраиваться аварийное освещение – на случай отключения штатного освещения. Такое освещение должно предусматривать 100 % нормируемую освещённость через 0,5 секунды после нарушения питания рабочего освещения [39].

6.3.3 Микроклимат

Оптимальные параметры микроклимата – это сочетание значений показателей микроклимата, которые при длительном воздействии на человека обеспечивают нормальное тепловое состояние организма при минимальном напряжении механизмов терморегуляции и ощущение комфорта не менее чем у 80% людей, находящихся в помещении.

К основным показателям микроклимата относятся температура воздуха, скорость движения и влажность воздуха, мощность теплового излучения, допустимое насыщение воздуха токсичными веществами.

Работа рабочего персонала на НПЗ относится к классу средних работ 2б – интенсивность 201 – 250 ккал/час (233 – 290 Вт), работы, связанные с ходьбой, перемещением, переноской грузов весом до 10 кг с умеренным физическим напряжением [48].

Оптимальные величины параметры микроклимата на рабочих местах производственных помещений исходя из класса работ представлены в таблице 30.

Таблица 30 – Оптимальные параметры микроклимата на рабочем месте

Период года	Энерготраты Вт	Температура воздуха, °С	Температура поверхностей, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	26 (201-250 ккал/час)	17-19	16-20	60-40	$\geq 0,2$
Теплый	26 (201-250 ккал/час)	19-21	18-22	60-40	$\geq 0,2$

Для обеспечения норм микроклиматических параметров в производственных помещениях НПЗ необходимо использовать:

- Устройства вентиляции и кондиционирования воздуха - данные системы предназначены для поддержания постоянной влажности и температуры, а также очистки воздуха от загрязнений и вредных веществ;
- Система водяного отопления - для обеспечения достаточного, постоянного и равномерного нагревания воздуха в помещении в холодный период года, а также пожаробезопасности;
- Устройства дезодорации воздуха - в случае разгерметизации оборудования существует вероятность загрязнения окружающего воздуха, дезодораторы способны уловить и нейтрализовать вредоносные газы.

В целях профилактики неблагоприятного воздействия микроклимата можно использовать: воздушное душирование, компенсацию неблагоприятного воздействия одного параметра микроклимата изменением другого, средства индивидуальной защиты, помещения для отдыха и обогрева, регламентацию времени работы.

Системы вентиляции должны обеспечить требуемую чистоту и микроклимат в рабочей зоне, быть электро-, пожаро- и взрывобезопасной, просты по

устройству, надежны в эксплуатации и эффективны, а также не должны являться источником шума и вибрации.

Естественная вентиляция дешева и проста в эксплуатации. Основной ее недостаток заключается в том, что приточный воздух вводится в помещение без предварительной очистки и подогрева.

В случае механической вентиляции воздухообмен осуществляется с помощью вентиляторов. В зависимости от направления воздуха механическая вентиляция бывает приточной, вытяжной, приточно-вытяжной, а по месту действия общеобменной, местной и комбинированной.

На участке осуществляется искусственная вентиляция. В зависимости от направления воздуха данная вентиляция является приточно-вытяжной, а по месту действия местной [41].

Для того, чтобы определить объем производственного здания используется формула:

$$V_3 = H \cdot S_3$$

$$L = V \cdot K$$

где S_3 – площадь здания, (122 м²);

H – высота здания, (3 м);

K – кратность воздухообмена, 3.

$$V_3 = 3 \cdot 122 = 366 \text{ м}^3$$

$$L = 3 \cdot 366 \text{ м}^3 = 1098 \text{ м}^3/\text{ч}$$

Такой производительности соответствует вентилятор Вентс ВКПФ 4Д 400x200 производительностью 600-1470 м³/ч [42]. Суммарный уровень звуковой мощности 52 дБ. Устанавливается два таких вентилятора, один из которых является запасным.

6.3.4 Электробезопасность

Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может пройти через тело человека

Основными факторами, определяющими степень поражения электрическим током, являются: сила тока, протекающего через человека, частота тока, время воздействия и путь протекания тока через тело человека.

Электрический ток, проходя через тело человека, оказывает на него комплексное воздействие, являющееся совокупностью биологического, электролитического, термического и механического воздействий, что вызывает как местное и общее повреждения тканей и органов.

Существуют критические значения сетевого переменного тока, воздействующего на организм:

- 0,6-1,5 мА - ток начала ощущения (в точках прикосновения);
- 10-20 мА - порог не отпускающего тока;
- 100 мА - ток фибрилляции сердца;
- 5 А и более вызывает у человека асфиксию – удушье.

Поражение электрическим током может произойти при прикосновении к токоведущим частям, находящимся под напряжением, на которых остался заряд или появилось напряжение в результате случайного включения в сеть, к нетоковедущим частям, выполненным из проводящего электрический ток материала, после перехода на них напряжения с токоведущих частей.

В повседневной деятельности НПЗ сотрудники проводят большую часть рабочего времени в помещениях, которые классифицируются как помещения с высокой опасностью поражения людей электрическим током.

Работу на электрооборудовании должны осуществлять специально обученный персонал с отметкой об этом в удостоверении.

При эксплуатации действующих электроустановок важную роль в обеспечении безопасности персонала играют электротехнические средства защиты, они подразделяются на четыре группы: изолирующие, ограждающие, экранирующие и предохранительные.

К основным изолирующим средствам относятся: изолирующие штанги, изолирующие и измерительные клещи, указатели напряжения.

К ограждающим электробезопасным средствам относятся временные переносные ограждения, заземления и предупредительные плакаты.

Экранирующие средства – это индивидуальные экранирующие комплекты и переносимые экранирующие устройства.

К предохранительным средствам защиты относятся: защитные очки, специальные рукавицы, защитные каски, предохранительные монтерские пояса, страховочные канаты, монтерские когти, лестницы.

Технические способы и средства применяют отдельно или в сочетании друг с другом так, чтобы обеспечивалась оптимальная защита.

Контроль выполнения требований электробезопасности должен проводиться на этапах проектирования, изготовления и эксплуатации.

В соответствии с [45] участок абсорбционной очистки от сероводорода относится к первому классу по электробезопасности (помещения без повышенной опасности).

6.3.5 Взрыво- и пожаробезопасность

Во избежание и предотвращения возгорания необходимо строгое соблюдение стандартов, выполнение установленного технологического режима, регулярное проведение инструктажа для сотрудников.

В производственном здании должны находиться порошковые, химические, пенные огнетушители, противопожарный инвентарь, песок, а также пожарные краны. Для тушения горячей электропроводки или электрооборудования применяются только углекислотные огнетушители [46].

Горючий мусор и отходы производства должны систематически убираться с производственной территории и вывозиться в безопасное в пожарном отношении место. Разливы горючих жидкостей смываются водой и засыпаются сухим песком. Оборудование должно размещаться на безопасном расстоянии друг от друга согласно противопожарным нормам проектирования. Территория установки должна содержаться в чистоте [46]. В соответствии с [46], участок абсорбционной очистки от сероводорода по взрыво- и пожаробезопасности от-

носится к категории АН, так как в ней присутствуют (хранятся, перерабатываются, транспортируются) горючие газы в таком количестве, что могут образовывать взрывоопасные парогазовоздушные смеси, при воспламенении которых развивается расчетное избыточное давление взрыва, превышающее 5 кПа.

Производственное здание в соответствии с [46], по взрыво- и пожаробезопасности относится к категории ВН, так как в ней присутствуют (хранятся, перерабатываются, транспортируются) горючие или трудногорючие жидкости, твердые горючие или трудногорючие вещества или материалы (в том числе пыли или волокна), вещества или материалы, способные при взаимодействии с водой, кислородом воздуха или друг с другом гореть

6.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Наиболее вероятным сценарием аварийной ситуации является нарушение герметизации трубопровода для подачи газовой смеси вследствие чего возможен выброс токсичных газов в атмосферу. Данная ситуация может быть следствием различных факторов, таких как локальная коррозия участков трубопровода, износ прокладок, нарушение режима работы вследствие повышенного давления или неисправность запорной арматуры.

Основными превентивными мерами в случае данной аварийной ситуации являются взрывозащита и взрывопредупреждение, исключаяющие условия для образования взрывоопасных смесей и наличия источников их воспламенения и защита людей, объектов и оборудования от опасных факторов взрыва, а организационные мероприятия по предупреждению аварийной ситуации представляют собой:

- Установку автоматических систем пожаротушения и вентиляции, клапанов для предупреждения высокого давления и факельных систем;
- выполнение условий противопожарного режима – защита от статического электричества, заземление оборудования, выполнение работ по предупреждению искрообразования;

- монтаж сигнализаторов, оповещающих о дозрывной концентрации газов;
- герметизацию оборудования, монтаж паровых завес и ограничение огневых работ.

Также наиболее часто встречающейся аварийной ситуацией являются пожары на территории предприятия.

Основными причинами пожаров исследуемого объекта являются: короткие замыкания, перегрев проводов, сварочные работы, курение, искры от автотранспорта и омедненного инструмента.

Для повышения уровня безопасности на производстве согласно [53] технологические процессы должны разрабатываться в соответствии с требованиями ОПВБ в части обеспечения промышленной безопасности.

Для всех действующих и вновь вводимых в эксплуатацию производств, опытно-промышленных, опытных установок и мини-НПЗ должны быть разработаны и утверждены технологические регламенты.

Для каждого взрывопожароопасного объекта должен быть разработан план локализации аварийных ситуаций (ПЛАС), в котором, с учетом специфических условий подразделения, предусматриваются необходимые меры и действия персонала по предупреждению аварийных ситуаций, а в случае их возникновения - по локализации, исключению отравлений, загораний или взрывов, максимальному снижению тяжести их последствий.

Таблица 31 – Аварийные и чрезвычайные ситуации, меры по их предупреждению и ликвидации последствий

Возможные аварийные и чрезвычайные ситуации	Меры предупреждения аварийных и чрезвычайных ситуаций	Меры ликвидации последствий аварийных и чрезвычайных ситуаций
Падение сотрудника с высоты собственного роста	Необходимо следить за наличием знаков «Осторожно! Мокрый пол»,	Необходимо оказать необходимую медицинскую помощь пострадавшему и вызвать спасателей (112)
Авария с выбросом химических веществ	– соблюдение операторами технологического регламента; – автоматизация процесса; – ежедневный осмотр	– эвакуация персонала; – санитарная обработка и нейтрализация химических веществ;

	оборудования; – проверка герметичности оборудования; – регулярное проведение технических осмотров, текущих и капитальных ремонтов согласно графику планово – предупредительного ремонта.	– вызов аварийных служб (101, 112); – ремонт оборудования.
Термический ожог сотрудника, вызванный аварией в системе горячего теплоносителя	Своевременные проверки на наличие повреждений, капитальные ремонты. Проведение инструктажей.	Оказание первой медицинской помощи, вызвать аварийную службу и спасателей (112)

6.5 Выводы по разделу

В главе были рассмотрены вредные и опасные факторы:

- воздействие шума и вибрации [37],
- избыточная или недостаточная освещённость [39],
- параметры микроклимата [41],
- опасность поражения электрическим током [45],
- опасность возникновения пожара и взрыва [46].

Рассмотрены меры по минимизации или исключению воздействия данных факторов на работников, средства их защиты.

Разработанный участок относится:

- к категории АН по взрывопожароопасности [46],
- по электробезопасности – к I классу [45],
- по микроклиматическим условиям – к Пб категории работ [41],
- по нормируемой освещённости – к VIII разряду [39].

Абсорбционная технология относится к замкнутой, количество отходов минимально.

Все выше описанные мероприятия в совокупности способны повысить безопасность технологического процесса на производстве и снизить вред, наносимый окружающей среде и человеку, при возникновении чрезвычайных ситуаций.

7 Автоматизация процесса

Данная абсорбционная установка предназначена для очистки кислых газов от сероводорода, путем поглощения сероводорода 15 % раствором моноэтаноламина в насадочном абсорбере.

Газовая смесь подается турбокомпрессором (поз. КМ) в межтрубное пространство вертикального одноходового холодильника (поз. X), где происходит охлаждение газовой смеси оборотной водой до температуры процесса, после охлаждения в холодильники газовая смесь поступает в нижнюю часть абсорбционной колонны (поз. КА), данная абсорбционная колонна оснащена насадкой из керамических колец Рашига. Поступающий газ на очистку (12) через турбокомпрессор КМ1 и КМ2 в холодильник X1 контролируется датчиком расхода (FE 2-1). Давление в абсорбционной колонне КА контролируется датчиком РЕ, а уровень жидкости датчиком LE. В колонне осуществляется противоточное взаимодействия газа и жидкости. Газовая смесь двигаясь вверх через слой жидкости контактируя с раствором происходит процесс поглощения раствором сероводорода из газовой смеси. Когда газовая смесь достигает верхней части колонны, практически весь сероводород удаляется из газового потока и очищенный газ выходя сверху из колонны отправляется на синтез – газ.

Отработанный раствор, содержащий растворенный сероводород, откачивается насосом (поз. Н1) из нижней части абсорбера на регенерацию в десорбер (поз. Д), после предварительного подогрева в теплообменнике (поз. Т) до температуры кипения от тепла регенерированного раствора амина. На случай отказа насоса (поз. Н1) он продублирован запасным насосом (поз. Н2). Десорбер представляет из себя колонный массообменный аппарат, где в качестве контактных устройств для взаимодействия между паром и жидкостью применены клапанные тарелки.

Из нижней части десорбера (поз. Д) балансовое количество жидкого регенерированного раствора направляется в вертикальный термосифонный кипятильник (поз. К), где регенеративный раствор, испаряясь в трубном пространстве кипятильника парами возвращается в нижнюю часть десорбера для созда-

ния восходящего потока. Давление в десорбере контролируется датчиком РЕ, поступающий отработанный раствор (13) в десорбер контролируется из Теплообменника датчиком температуры ТЕ. Поступающий регенерирующий раствор (15) из десорбера Д в кипятильник К контролируется датчиком расхода. В межтрубное пространство кипятильника (поз. К) подается водяной пар по трубопроводу (поз. Т7), проходя по межтрубному пространству кипятильника, водяной пар отдает свое тепло регенеративному раствору и переводя его в парообразное состояние. Конденсат водяного пара выходя из кипятильника направляется в конденсатоотводчик (поз. КО) откуда потом отводится по трубопроводу (поз. Т8).

Балансовое количество регенерированного раствора амина откачивается насосом (поз. Н4) из нижней части десорбера в промежуточную емкость (поз. Е) через теплообменник (поз. Т), где регенерированный раствор амина отдает свое тепло отработанному раствору. Из промежуточной емкости (поз. Е) регенерированный раствор амина подается в межтрубное пространство кожухотрубчатого холодильника, где раствор охлаждается до температуры процесса оборотной водой, далее раствор подается на орошение в верхнюю часть абсорбера, для дальнейшей очистки кислого газа.

Отпаренный кислый газ с небольшим содержанием абсорбента и водяного пара выходя сверху десорбера (поз. Д), направляется в межтрубное пространство конденсатора – холодильника (поз. ХК), где паровой поток конденсируется за счет подачи в трубное пространство оборотной воды, после конденсации в конденсаторе – холодильнике (поз. ХК), смесь жидкости и газа поступает в трехфазный сепаратор (поз. С), где кислый газ отделяется от сконденсированных жидкостей, жидкая фаза из сепаратора (поз. С) подается обратно в верхнюю часть десорбера (поз. Д) в качестве флегмы, а кислый газ из сепаратора направляется на дальнейшее производство. Поступающая флегма (19) с сепаратора С контролируется датчиком расхода. Уровень регенерирующего раствора (15) в емкости Е контролируется датчиком уровня LE. Поступающий ре-

генерирующий раствор (15) из емкости Е в холодильник Х2 контролируется датчиком качества АЕ.

7.1 Технологические параметры, подлежащие контролю, регулированию и сигнализации

Контролю подлежат те параметры, измерение текущих значений которых облегчает пуск, наладку и ведение технологического процесса. К их числу обычно относятся входные и выходные величины, все регулируемые и нерегулируемые внутренние параметры.

Блокировка представляет собой совокупность технических средств, которые при возникновении аварийных режимов прекращают контролируемый производственный процесс.

Технологические параметры, подлежащие контролю, регулированию и сигнализации представлены в приложении А (таблица А.1).

7.2 Подбор контрольно-измерительных приборов

Для датчиков расхода (FE 2-1, FE 8-1, FE 6-1, FE 17-1) выберем электромагнитный расходомер. Электромагнитный расходомер ЭМИС-МАГ 270.

Таблица 32 – Техническая характеристика

Типоразмер	15...450 мм
Диапазоны измерений	от 57 м ³ /ч до 5000 м ³ /ч
Измеряемая среда	электропроводная жидкость
Погрешность	до ±0,5%
Напряжение питания	24 В пост. тока, 220В перем. тока.
Присоединение к трубопроводу	фланцевое
Давление измеряемой среды	до 42 МПа
Температура измеряемой среды	от -40°С до +130°С
Выходные сигналы:	– импульсный/частотный – аналоговый токовый 4-20 мА – цифровой сигнал стандарта Modbus RTU – цифровой сигнал стандарта HART
Взрывозащита (Вн, РВ)	1Exd[ia]IIС(T4-T6)X; РВ ExdI X
Температура окружающей среды*	Интегральное исполнение: -40...+50°С; Дистанционное исполнение: -40...+75°С (-20...+50°С для взрывозащиты типа РВ)

Интервал между поверками	4 года
Пылевлагозащита	IP65, IP66, IP67, IP66/67

Для датчиков давления (PE 5-1, PE 7-1) выберем высокотемпературный датчик давления ТД-10.130b.

Высокотемпературный датчик давления ТД-10/130 является основой для многих промышленных применений благодаря универсальной конструкции и различным вариантам исполнения. Сенсор датчика – высокочувствительный пьезорезистивный кремниевый сенсор, основанный на MEMS-технологии.

Особенности:

- Диапазон давления до 1000 бар;
- Погрешность измерений 0,5, 0,25 или 0,1%;
- Максимальная температура среды - до +300 °С;
- Электрическое присоединение - DIN 43650А или кабель;
- Различные варианты технологического присоединения;
- Высокая долговременная стабильность (<0,2% ВПИ/год);
- MEMS-технологии.

Для датчиков уровня жидкости (LE 9-1, LE 3-1, LE 14-1, LE 13-1, LE 10-1) выберем Емкостный уровнемер для жидкости Датчик уровня ёмкостный DLM-35N-20-G1-I-C-E0600.

Технические характеристики

- Принцип действия – емкостный;
- Контролируемая среда – жидкости и сыпучие материалы;
- Удлинение, мм – 600;
- Метод взаимодействия со средой – контактный;
- Диапазон измерения, мм – 600;
- Напряжение питания, В – 9...36;
- Род тока – DC;
- Тип выхода – 4...20 мА;
- Присоединение – Резьба G 1;

- Степень защиты оболочки – IP65/IP67;
- Рабочая температура, °С – -30...+200;
- Материал корпуса – нерж. сталь;
- Торговая марка – DLM-35;
- Гарантийный срок – 36 мес.

Для датчиков температуры (ТЕ 1-1, ТЕ 4-1, ТЕ 11-1, ТЕ 12-1, ТЕ 15-1, ТЕ 16-1) выберем канальный датчик термометр биметаллический накладной с пружиной STOUT RG008Q0C17VFTU используется для измерения и контроля температуры воды и газа. Резьба соединения – 1/2 дюйма, соединение – радиальное, класс точности – 2.0, диапазон измерения температуры от –50 до +250 С°. Корпус устойчив к воздействию агрессивной среды, прослужит долгое время.

Для датчика контроля качества (АЕ 3-1) выберем анализатор жидкости многопараметровый АТОН-201 МП.

Таблица 33 – Техническая характеристика анализатора

Характеристики	Значения
Диапазоны измерений:	
- температура анализируемой среды,	От 0 до +200
- электродвижущая сила, мВ	От -2500 до +2500
- рН	от 1 до 14
- массовая концентрация растворенного кислорода, мкг/дм ³	От 3 до 20 · 10 ³
- удельная электрическая проводимость, мкСм/см	От 0,01 до 500
Пределы допускаемых значений основной абсолютной погрешности	± 5
Погрешность при измерении УЭП, %	± 2
Мощность, потребляемая анализатором, В · А, не более	3,6

7.3 Выводы по разделу

Составлена схема автоматизации для участка абсорбционной очистки природного газа от сероводорода, определены основные параметры, которые подлежат контролю, регулированию и сигнализации, а также предусмотрены возможности блокировок. Проведен обзор датчиков для контроля параметров,

подходящих для данного процесса, и выбраны оптимальные, с учетом особенностей технологического процесса.

Схема автоматизации приведена в приложении пояснительной записки.

Заключение

В ходе выполнения дипломного проекта был проведен литературный обзор физико-химических свойств сероводорода, а также способов очистки природного газа от серных газов. В данной работе рассматривался процесс абсорбционной очистки от сероводородсодержащих газов.

Для проектирования был выбран и рассчитан основной аппарат – абсорбционная колонна с массообменным устройством: в исчерпывающей части колонны неподвижная насадка в виде колец Рашига. Была предложена аппаратно-технологическая схема процесса абсорбционной очистки природного газа от сероводородсодержащих примесей и представлена блок-схема процесса.

В проекте был произведен аппаратный расчет абсорбера, а так же представлены габаритные размеры остального оборудования.

Согласно аппаратному расчету, высота и диаметр абсорбера соответственно равны 22400 мм и 2200 мм. Общая масса абсорбера составляет 99967 кг. Основной материал абсорбера – сталь марки 12X18H10T соответствующая ГОСТ 55632-62. Общая высота слоя насадки равна 13500 мм. Во избежание значительных нагрузок на опорные решетки, располагаем высоту насадки в 5 слоев, принимаем 4 слоя по 3000 мм и 1 слой в 1200 мм. Высота промежутков между слоями насадки, в которых устанавливаются перераспределители жидкости, принимаем 1300 мм.

Для проектирования участка абсорбции сероводорода были произведены расчеты материального баланса абсорбционной колонны, десорбционной колонны, а также аппаратный, механический и гидравлический расчеты проектируемого аппарата. Выполнен подбор оборудования, необходимого для корректной работы участка, разработан план размещения оборудования.

В результате расчета основного аппарата были вычислены габаритные размеры аппарата ($H_{\text{абс.к}} = 22,4$ м, $D_{\text{абс.к}} = 2200$ м). Подобраны крышка и днище в соответствии с ГОСТ 6533-78, рассчитаны высота слоя насадочной части (4 слоя по 3000 мм и 1 слой 1200 мм), рассчитаны диаметры штуцеров подвода и

отвода жидкостей и газа, а также произведен подбор опоры, люков в соответствии с ОСТ 26-2094-83.

В результате выполнения раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» были рассчитаны размеры фондов заработной платы и капитальных затрат на постройку здания.

Также были изучены вопросы охраны труда и окружающей среды. Результатом выполнения раздела «Социальная ответственность» стало выявление опасных и вредных производственных факторов. Проектируемый участок был рассмотрен с точки зрения пожарной опасности, а также электробезопасности и защиты персонала от шума и вибрации. Также рассмотрены возможные причины возникновения чрезвычайных ситуаций на проектируемом производстве и методы их предупреждения и устранения.

Составлена функциональная схема автоматизации, определены основные параметры, которые подлежат контролю, регулированию и сигнализации, а также предусмотрены возможности блокировок. Проведен обзор датчиков для контроля параметров, подходящих для данного процесса, и выбраны оптимальные, с учетом особенностей технологического процесса.

Список использованных источников

1. Сигэру О. Химия органических соединений серы / О. Сигэру. М.: Химия. 1975. 512 с.
2. Мановян А.К. Технология первичной переработки нефти и природного газа / А.К. Мановян. М.: Химия. 2001. 568 с.
3. Бекиров Т.М. Первичная переработка природных газов / Т.М. Бекиров. М.: Химия. 1987. 256 с.
4. Мурин В.И. Технология переработки природного газа и конденсата: Справочник: В 2 ч. / В.И. Мурин. М.: ООО Недра-Бизнесцентр. 2002. Ч.1. 517 с.
5. Николаев В.В. Основные процессы физической и физико-химической переработки газа / В.В. Николаев, Н.В. Бусыгина, И.Г. Бусыгин. М.: ОАО Издательство «Недра». 1998. 184 с.
6. Стрижов И.Н. Добыча газа / И.Н. Стрижов, И.Е. Ходанович. Москва-Ижевск: Институт компьютерных исследований. 2003. 376 с.
7. Мирзаджанзаде А.Х. Основы технологии добычи газа / А.Х. Мирзаджанзаде, О.Л. Кузнецов, К.С. Басниев, З.С. Алиев. М.: ОАО Издательство «Недра». 2003. 880 с.
8. Зиберт Г.К. Подготовка и переработка углеводородных газов и конденсата. Технологии и оборудование: Справочное пособие / Г.К. Зиберт, А.Д. Седых Ю.А. Кашицкий, Н.В. Михайлов, В.М. Демин. М.: ОАО Недр-Бизнесцентр. 2001. 316 с.
9. Очистка технологических газов / Под редакцией Т.А. Семеновой, И.Л. Лейтес. М.: Химия. 1977. 243 с.
10. В. К. Леонтьев, О.Н. Кораблева, Е.А. Гирба. Процессы и аппараты химической технологии. Абсорбция: учебное пособие. – Ярославль: Изд-во ЯГТУ, 2018. – 99 с.
11. Абсорбция, экстрагирование. Расчет, примеры. Учебное пособие / В. С. Щетинин; М-во образования и науки Российской Федерации 2013. - 86 с.

12. Гутник С.П., Сосонко В. Е., Гутман В. Д. Расчёты по технологии органического синтеза: Учебное пособие для техникумов. - М.: Химия, 1988. – 252 с.
13. Иоффе И. Л. Проектирование процессов и аппаратов химической технологии. Л.: Химия, 1991. – 352 с.
14. Павлов, К. Ф. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии: учебное пособие для вузов [Текст] / К. Ф. Павлов, П. Г. Романков, А. А. Носков ; под ред. чл.-корр. АН России П. Г. Романкова. – 13-е изд., стер. – М. : Альянс, 2006. – 576 с.
15. Справочник химика [Текст] / под ред. Б. П. Никольского, О. Н. Григорова, М. Е. Позина [и др.]. – Т. V. – 2-е изд. – М. : Химия, 1968. – 996 с.
16. Ульянов В.М. Физико-химические характеристики веществ. Справочник проектировщика химического оборудования. Нижний Новгород : Нижегородский гос. технический ун-т им. Р. Е. Алексеева, 2009. - 308 с.
17. Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии: Учеб. для студ. хим. – технол. спец. вузов. – 9-е изд. испр. - М.: Химия, 1971. - 784 с.
18. Александров И.А. Ректификационные и абсорбционные аппараты. Методы расчета и основы конструирования/ 3-е изд. перераб. и доп.: М.: Химия, 1978 г. - 280 с.
19. Логинов А.В., Насосы и насосные установки пищевых предприятий: Учеб. пособие / А.В. Логинов, М.И. Слюсарев, А.А. Смирных; ВГТА, Воронеж 2001. - 220 с.
20. Домашнев А.Д., Конструирование и расчёт химических аппаратов. - М.: Машгиз, 1961,- 624 с. 101
21. Дытнерский Ю.И., Борисов Г.С., Брыков В.П. и др. Основные процессы и аппараты химической технологии: Пособие по проектированию /2-е изд. - М.: Химия, 1991. - 496с.

22. Основные процессы и аппараты химической технологии: Пособие по курсовому проектированию/Под ред. Ю.И. Дыгнерского, 3-е изд., стереотипное. – М: ООО ИД «Альянс», 2007 – 496с.
23. Беляев В.М., Миронов В.М. Конструирование и расчет элементов оборудования отрасли. Ч.I: Тонкостенные сосуды и аппараты химических производств: Учебное пособие. – Изд-во Томского политехнического университета, - 2016. – 314 с.
24. ГОСТ 34233.1-2017 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Общие требования. – М.: Стандартинформ, 2018.
25. ГОСТ 6533-78, Днища эллиптические отбортованные стальные для сосудов, аппаратов и котлов. М.: Изд-во стандартов, 1978. – 26 с.
26. АТК 24.218.06-90, Штуцера для сосудов и аппаратов стальных сварных типы, основные параметры, размеры и общие технические требования. М.: Изд-во стандартов, 1990. – 46 с.
27. ОСТ 26-2094-83, Люки с фланцами и крышками, облицованными листом из коррозионностойкой стали, стальных сварных сосудов и аппаратов. Конструкция и размеры, М.: Изд-во стандартов, 2003. – 30.
28. ГОСТ 34233.3-2017 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Укрепление отверстий в обечайках и днищах при внутреннем и наружном давлениях. Расчет на прочность обечаек и днищ при внешних статических нагрузках на штуцер (утв. приказом Росстандарта от 14.12.2017 N 1991-ст).
29. ГОСТ 12820-80, Фланцы стальные плоские приварные на Ру от 0,1 до 2,5 МПа (от 1 до 25 кгс/см²), конструкция и размеры, М.: Изд-во стандартов, 1981. – 12 с. 102
30. ГОСТ 52857.4-2007, Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Расчет на прочность и герметичность фланцевых соединений. М.: Изд-во стандартов, 2008. – 37 с.
31. ГОСТ 481-80, Паронит и прокладки из него. Технические условия, М.: ИД «Москва», 2004. – 16 с.

32. ГОСТ Р 52857.4-2004 "Расчет фланцевых соединений".
33. Михалев М.Ф. Расчет и конструирование машин и аппаратов химических производств. Примеры и задачи. М.: изд-во Ленинград «Машиностроение», 1984. — 299 с.
34. Федеральный закон "Об обязательном социальном страховании от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний" от 24.07.1998 N 125-ФЗ (последняя редакция).
35. Федеральный закон "Об основах обязательного социального страхования" от 16.07.1999 N 165-ФЗ (последняя редакция).
36. ГОСТ 12.1.003-2014 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности.
37. СН 2.2.4/2.1.8.562–96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории застройки.
38. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278–03. Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещённому освещению жилых и общественных зданий.
39. СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95.
40. ГОСТ Р 55710-2013 Освещение рабочих мест внутри зданий. Нормы и методы измерений: дата введения 2014-07-01.
41. ГОСТ Р ЕН 13779-2007 Вентиляция в нежилых зданиях. Технические требования к системам вентиляции и кондиционирования: дата введения 2008-10-01.
42. "Магазин Vents": официальный сайт. – Москва. – URL: <https://vents-shop.ru/ventilyator-vents-vkpf-4d-400-200/> (дата обращения 09.01.2022). – Текст : электронный.
43. ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.
44. СанПиН 2.2.4.548–96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.

45. ГОСТ 12.1.030-81 ССБТ. Электробезопасность. Защитное заземление, зануление.
46. ГОСТ 12.4.009. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Пожарная техника для защиты объектов. Основные виды. Размещение и обслуживание (с Изменением N 1)
47. СанПиН 2.2.4.3359–16. "Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах".
48. Р 2.2.013-94 Гигиенические критерии оценки условий труда по показателям вредности и опасности факторов производственной среды, тяжести и напряженности трудового процесса.
49. Строительные нормы и правила: СНиП 2.04.09-84 Пожарная автоматика зданий и сооружений. - Москва: [б.и.], 1998. - 24 с. 37. ПБЭ НП-2001 Правила безопасной эксплуатации и охраны труда для нефтеперерабатывающих производств.
50. Рамм, В. М. Абсорбция газов / В. М. Рамм. - М. : Химия, 1966. - 767 с.
51. Р 2.2.013-94 Гигиенические критерии оценки условий труда по показателям вредности и опасности факторов производственной среды, тяжести и напряженности трудового процесса.
52. Строительные нормы и правила: СНиП 2.04.09-84 Пожарная автоматика зданий и сооружений.- Москва: [б.и.], 1998. - 24 с.
53. ПБЭ НП-2001 Правила безопасной эксплуатации и охраны труда для нефтеперерабатывающих производств

Приложение А

(обязательное)

Таблица А.1 – Технологические параметры, подлежащие контролю

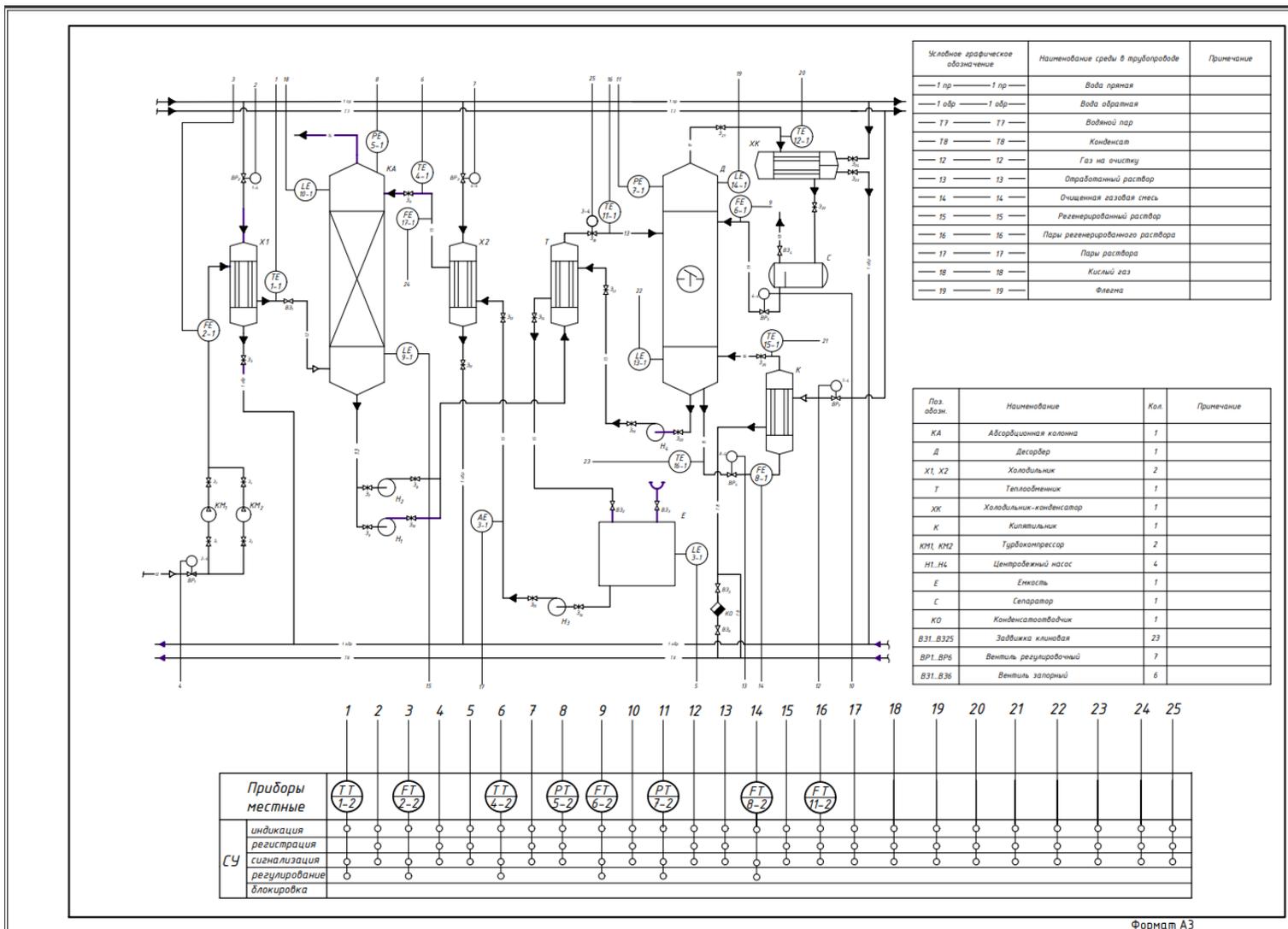
Позиция прибора по схеме	Параметр	Аппарат, оборудование	Устанавливаемый предел технологии		Значение установок				Операции, выполняемые при блокировке
			Минимальный	Максимальный	Сигнализация		Блокировка		
					минимальный	максимальный	минимальный	максимальный	
3	Расход поступающего газа, м/с	Холодильник	5	50	-	50	-	52	Световая звуковая сигнализация, закрытие отсечного клапана ВР ₁
8	Давление, Мпа	Абсорбционная колонна	0,25	0,4	0,15	0,5	0,2	0,55	Световая звуковая сигнализация
10	Давление Мпа	Десорбер	0,25	0,4	0,15	0,5	0,2	0,55	Световая звуковая сигнализация
14	Расход поступающей жидкости, м/с	Кипятильник	5	50	-	50	-	52	Световая звуковая сигнализация, закрытие отсечного клапана ВР ₄

5	Уровень жидкости, м	Емкость	12	15	-	15	-	15,5	Световая звуковая сигнализация
1	Температура в Абсорбере, С	Абсорбционная колонна	35	45	-	35	-	33	Световая звуковая сигнализация, закрытие отсечного клапана ВР ₂
16	Температура в Десорбере, С	Десорбер	150	200	-	205	-	210	Световая звуковая сигнализация, закрытие отсечного клапана З ₁₈

Приложение Б

(обязательное)

Схема автоматизации



Формат А3