

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

**Инженерная школа новых производственных технологий**  
Отделение школы (НОЦ) **Научно-образовательный центр Н.М.Кижнера**  
Направление подготовки 18.03.01 Химическая технология  
Профиль Машины и аппараты химических производств

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

Тема работы
<b>Проект насадочной абсорбционной колонны для аминовой очистки сероводородсодержащих газов нефтеперерабатывающего производства</b>

УДК 661.832.322.55

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4Г7Б	Хохряков Роман Евгеньевич		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Ан Владимир Вилорьевич	д.х.н., доцент		

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН	Спицына Любовь Юрьевна	к.э.н., доцент		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Черемискина Мария Сергеевна	-		

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Беляев В.М.	к.т.н., доцент		

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

Инженерная школа новых производственных технологий  
Научно-образовательный центр Н.М.Кижнера  
Направление подготовки 18.03.01 Химическая технология  
Профиль Машины и аппараты химических производств

**УТВЕРЖДАЮ:**  
Руководитель ООП

\_\_\_\_\_ Беляев В.М.  
(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

**ЗАДАНИЕ**  
**на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

Бакалаврской работы

(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
4Г7Б	Хохряков Роман Евгеньевич

Тема работы:

Проект насадочной абсорбционной колонны для аминовой очистки сероводородсодержащих газов нефтеперерабатывающего производства

Утверждена приказом директора (дата, номер)	№29-64/с от 29.01.2021
---	------------------------

Срок сдачи студентом выполненной работы:	10.06.2021
--	------------

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<p><b>Исходные данные к работе</b></p> <p><i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. Д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. Д.).</i></p>	<p><b>Проект насадочной абсорбционной колонны для аминовой очистки сероводородсодержащих газов нефтеперерабатывающего производства</b></p> <p>Производительность по газу = 10000 м<sup>3</sup>/ч; Рабочее давление P = 1,6 атм; Температура t = 40 °С; Абсорбент – 15% раствор моноэтаноламина в воде.</p>
<p><b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b></p> <p><i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования,</i></p>	<p>Реферат; Введение; 1 Литературный обзор; 2 Технологический расчет; 3. Расчет вспомогательного оборудования 4. Механический расчет; 5. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение;</p>

<i>конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i>	4 Социальная ответственность; Заключение; Список литературы.
<b>Перечень графического материала</b> <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	Лист 1 – Общий вид абсорбционной колонны (А1). Лист 2 – Аппаратурно-технологическая схема (А3) Лист 2 – Спецификация (А3).
<b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b> <i>(с указанием разделов)</i>	
<b>Раздел</b>	<b>Консультант</b>
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Спицына Любовь Юрьевна
Социальная ответственность	Черемискина Мария Сергеевна
Конструктивно-механический раздел	Беляев Василий Михайлович
<b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</b>	

<b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b>	21.01.2021
---	------------

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Ан В.В.	д.х.н., Доцент		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4Г7Б	Хохряков Роман Евгеньевич		

**Планируемые результаты обучения по ООП 18.03.01 «Химическая технология»  
выпуска 2021 г.**

<b>Код компетенции</b>	<b>Наименование компетенции</b>
<b>Универсальные компетенции</b>	
УК(У)-1	Способность осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач
УК(У)-2	Способность определять круг задач в рамках поставленной цели и выбирать оптимальные способы их решения, исходя из действующих правовых норм, имеющихся ресурсов и ограничений
УК(У)-3	Способность осуществлять социальное взаимодействие и реализовывать свою роль в команде
УК(У)-4	Способность осуществлять деловую коммуникацию в устной и письменной формах на государственном языке Российской Федерации и иностранном(-ых) языке(-ах)
УК(У)-5	Способность воспринимать межкультурное разнообразие общества в социально-историческом, этическом и философском контекстах
УК(У)-6	Способность управлять своим временем, выстраивать и реализовывать траекторию саморазвития на основе принципов образования в течение всей жизни
УК(У)-7	Способность поддерживать должный уровень физической подготовленности для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности
УК(У)-8	Способность создавать и поддерживать безопасные условия жизнедеятельности, в том числе при возникновении чрезвычайных ситуаций
<b>Дополнительная универсальная компетенция университета</b>	
УК(У)-9	Способность проявлять предприимчивость в профессиональной деятельности, в т.ч. в рамках разработки коммерчески перспективного продукта на основе научно-технической идеи
<b>Общепрофессиональные компетенции</b>	
ОПК(У)-1	Способность и готовность использовать основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности
ОПК(У)-2	Готовность использовать знания о современной физической картине мира, пространственно-временных закономерностях, строении вещества для понимания окружающего мира и явлений природы
ОПК(У)-3	Готовность использовать знания о строении вещества, природе химической связи в различных классах химических соединений для понимания свойств материалов и механизма химических процессов, протекающих в окружающем мире
ОПК(У)-4	Владеет пониманием сущности и значения информации в развитии современного информационного общества, осознания опасности и угрозы, возникающих в этом процессе, способностью соблюдать основные требования информационной безопасности, в том числе защиты государственной тайны
ОПК(У)-5	Владеет основными методами, способами и средствами получения, хранения, переработки информации, навыками работы с компьютером как средством управления информацией
ОПК(У)-6	Владеет основными методами защиты производственного персонала и населения от возможных последствий аварий, катастроф, стихийных бедствий

<b>Код компетенции</b>	<b>Наименование компетенции</b>
<b>Профессиональные компетенции</b>	
ПК(У)-1	Способность и готовность осуществлять технологический процесс в соответствии с регламентом и использовать технические средства для измерения основных параметров технологического процесса, свойств сырья и продукции

ПК(У)-2	Готовность применять аналитические и численные методы решения поставленных задач, использовать современные информационные технологии, проводить обработку информации с использованием прикладных программных средств сферы профессиональной деятельности, использовать сетевые компьютерные технологии и базы данных в своей профессиональной области, пакеты прикладных программ для расчета технологических параметров оборудования
ПК(У)-3	Готовность использовать нормативные документы по качеству, стандартизации и сертификации продуктов и изделий, элементы экономического анализа в практической деятельности
ПК(У)-4	Способность принимать конкретные технические решения при разработке технологических процессов, выбирать технические средства и технологии с учетом экологических последствий их применения
ПК(У)-5	Способность использовать правила техники безопасности, производственной санитарии, пожарной безопасности и нормы охраны труда, измерять и оценивать параметры производственного микроклимата, уровня запыленности и загазованности, шума, и вибрации, освещенности рабочих мест
ПК(У)-6	Способность налаживать, настраивать и осуществлять проверку оборудования и программных средств
ПК(У)-7	Способность проверять техническое состояние, организовывать профилактические осмотры и текущий ремонт оборудования, готовить оборудование к ремонту и принимать оборудование из ремонта
ПК(У)-8	Готовность к освоению и эксплуатации вновь вводимого оборудования
ПК(У)-9	Способность анализировать техническую документацию, подбирать оборудование, готовить заявки на приобретение и ремонт оборудования
ПК(У)-10	Способность проводить анализ сырья, материалов и готовой продукции, осуществлять оценку результатов анализа
ПК(У)-11	Способность выявлять и устранять отклонения от режимов работы технологического оборудования и параметров технологического процесса
ПК(У)-21	Готовность разрабатывать проекты в составе авторского коллектива
ПК(У)-22	Готовность использовать информационные технологии при разработке проектов
ПК(У)-23	Способность проектировать технологические процессы с использованием автоматизированных систем технологической подготовки производства в составе авторского коллектива
<b>Дополнительная компетенция университета</b>	
ДПК(У)-1	Способность проводить стандартные испытания материалов и изделий, проводить физические и химические эксперименты, проводить обработку и анализ результатов

## Реферат

В дипломном проекте была рассчитана насадочная абсорбционная колонна для аминовой очистки сероводород содержащих газов. Были произведены технологический, конструктивно-механический расчеты и расчет гидравлического сопротивления абсорбера. В разделах «Финансовый менеджмент» и «Социальная ответственность» были рассчитаны экономические показатели производства, выявлены производственные факторы, способные навредить рабочему персоналу и окружающей среде, также были разработаны методы по снижению вероятности их возникновения.

Выпускная квалификационная работа содержит пояснительную записку из 103 страницы, 19 таблиц, 10 рисунков, 37 литературных источника и графическую часть из 1 листа формата А1, 2 листов формата А3.

Ключевые слова: абсорбция, моноэтаноламин, сероводород, абсорбционная колонна.

## Оглавление

ВВЕДЕНИЕ.....	9
1 Литературный обзор .....	11
2. Технологический расчет.....	13
2.1 Определение расхода абсорбента и абсорбтива .....	14
2.2 Определение движущей силы.....	16
2.3 Определение теоретического числа ступеней процесса абсорбции .....	16
2.4 Расчет коэффициента массопередачи .....	17
2.5 Расчет высоты абсорбера.....	24
2.6 Расчет гидравлического сопротивления абсорбера.....	25
3. Расчет вспомогательного оборудования.....	27
4. Механический расчет абсорбера .....	30
4.1 Выбор конструкционных материалов .....	30
4.2 Определение расчетных параметров.....	31
4.3 Расчет толщины стенки .....	33
4.4 Расчет толщины стенки эллиптической крышки и днища .....	35
4.5 Расчет штуцеров .....	37
4.6 Подбор люка-лаза.....	40
4.7 Расчет фланцев .....	42
4.8 Расчет укреплений отверстий .....	52
5. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ.....	61
5.1 Предпроектный анализ. Анализ рынка. Основные потребители и конкуренты.....	61
5.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования .....	61
5.1.2 Анализ конкурентных технических решений .....	63
5.2 SWOT – Анализ .....	64
5.3 Определение возможных альтернатив проведения научного исследования	67
5.4 Планирование работ.....	69
5.4.1 Структура работ в рамках научного исследования .....	69
5.4.2 Определение трудоемкости выполнения работ .....	70

5.4.3 График проведения работ.....	71
5.4.4 Бюджет научно-технического исследования .....	74
5.5 Определение ресурсосберегающей, финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности проекта.....	82
6 Социальная ответственность .....	86
6.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности .....	87
6.2 Производственная безопасность.....	89
6.2.1 Анализ опасных и вредных факторов .....	89
6.2.2 Обоснование мероприятий по снижению уровней воздействия опасных и вредных факторов на работника НПЗ.....	93
6.3 Экологическая безопасность.....	95
6.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	96
Заключение .....	99
Список используемой литературы .....	100



## ВВЕДЕНИЕ

Сернистые соединения, изначально находящиеся в природном газе могут способствовать разрушению различного рода нефтехимического оборудования, При наличии сероводородных соединений, превышающих допустимые значения по ГОСТ 5542 - 2014, необходимо проводить очистку. Аминовая очистка является самым простым, энерго-эффективным и незатратным способом извлечения вредоносных компонентов из исходного полезного ископаемого.

Основой аминовой очистки является процесс объемного поглощения паров или газов жидким абсорбентом с образованием раствора - абсорбция. Насадочный абсорбер - аппарат в котором происходит процесс абсорбции, конструктивно представляет собой колонну внутри которой расположена опорная решетка с насыпанной нерегулярной насадкой (кольца Рашига, Паля и др.) или устанавливаются правильно уложенные, регулярные насадки, представляющие собой различного рода пластины, располагающиеся параллельно вертикальной оси абсорбера. На практике вследствие ограниченной высоты насадочного слоя зачастую устанавливаются несколько слоев. Сверху в аппарат поступает жидкий поглотитель – абсорбент, при движении жидкости вниз он распределяется по поверхности тонкой плёнкой. Газ движется снизу-вверх контактируя при этом с жидким слоем.

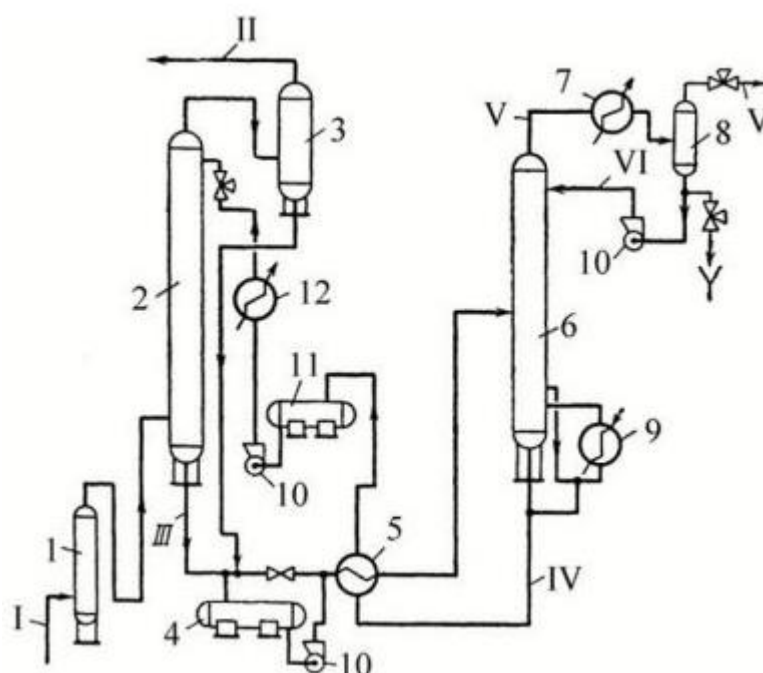
Целью дипломного проекта является модернизация насадочной абсорбционной колонны для аминовой очистки сероводород содержащих газов с целью сокращения расходов на изготовление, эксплуатацию и ремонт.

В ходе выполнения дипломного проекта необходимо выполнить следующие задачи:

- сделать литературный обзор абсорбционной очистки газов от сероводорода этаноламинами;
- провести технологический расчет насадочного абсорбера;

- провести механический расчет насадочного абсорбера;
- выполнить анализ и расчет технико-экономических показателей производства;
- выявить вредоносные аспекты производства, способные навредить рабочему персоналу и окружающей среде, а также разработать способы снижения их негативного воздействия.

## 1 ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР



1 – приемный сепаратор; 2 – абсорбер; 3 – скруббер; 4, 11 – промежуточные емкости; 5 – теплообменники; 6 – десорбер; 7 – конденсатор-холодильник; 8 – емкость флегмы; 9 – подогреватель; 10 – насосы; 12 – холодильник; I – сырой газ; II – очищенный газ; III – насыщенный раствор; IV – регенерированный раствор; V – кислые газы; VI – флегма

Рисунок 1 - Технологическая схема аминовой очистки газа от сероводорода

Основным агрегатом очистительной установки является насадочный абсорбер - вертикально ориентированный аппарат с расположенными внутри насадками. В нижней его части расположен вход для подачи неочищенной газовой смеси, вверху имеется выход в скруббер.

Насосный агрегат участвует в процессе в том случае, когда очищаемый газ в установки находится под давлением, недостаточным для прохода реагента в теплообменник, а затем в отгонную колонну, если же исходного давления достаточно, то процесс протекает без участия насоса.

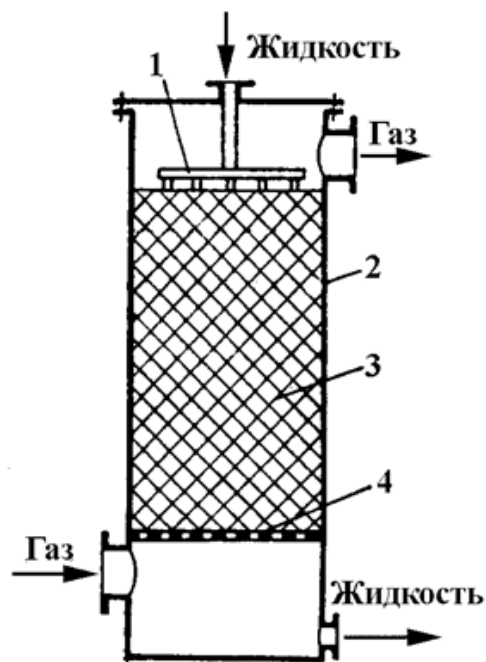
После прохождения через входной сепаратор поток газа нагнетается в нижний раздел абсорбера. Далее поток газа проходит через насадочный слой, покрытый тонкой пленкой аминового раствора, который расположен на

опорных решетках абсорбера, после чего очищенный газ направляется в скруббер, а использованный раствор этаноламина направляется в отгонную колонну на очистку от абсорбированных соединений, извлекаемых путем нагревания воды.

Следующей ступенью очистки раствора является ее охлаждение в установленном на технологической линии кожухотрубчатом теплообменнике, далее очищенный раствор нагнетается насосом в холодильник где происходит конденсация пара, а охлажденный аминовый раствор направляется назад в абсорбционную колонну. Конденсированные пары также проходят процесс очистки от сероводорода и направляются в абсорбер.

Описанный процесс очистки жидкого реагента позволят существенно снизить ресурсо-затраты на производство.

## 2. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ



1 - перераспределитель жидкости; 2 - корпус; 3 - насадка; 4 - опорная решетка.

Рисунок 2 – Насадочный абсорбер

### Исходные данные:

Абсорбент - 15% р-р моноэтаноламина

Абсорбтив - сероводород ( $H_2S$ )

Абсорбат - насадочный абсорбер

Рабочее давление,  $P = 0.16$  МПа

Температура,  $40$  °С

Производительность по газу,  $V = 2.78$  м<sup>3</sup>/с

Начальная объемная концентрация  $H_2S$  в моноэтаноламине, 0 масс. %

Исходная концентрация  $H_2S$  в газе,  $y_n = 5$  масс. %

Концентрация  $H_2S$  на выходе,  $y_k = 0.01$  масс. %

Молярная масса  $H_2S$ ,  $M_{H_2S} = 34.082$  г/моль

Средняя молярная масса газа,  $M_{газа} = 17.298$  г/моль

## 2.1 Определение расхода абсорбента и абсорбтива

Для определения массы сероводорода  $H_2S$ , абсорбируемой раствором моноэтаноламина будем использовать уравнение материального баланса [1]:

$$M = G(\bar{Y}_H - \bar{Y}_K) = L(\bar{X}_H - \bar{X}_K), \quad (1)$$

Где:

$G, L$  – расходы чистого поглотителя и инертной части газа, кг/с;

$\bar{Y}_H$  и  $\bar{Y}_K$  - начальная и конечная концентрации газа, кг/кг;

$\bar{X}_H$  и  $\bar{X}_K$  - начальная и конечная концентрация жидкой фазы кг/кг.

Пересчет начальной и конечной объемной концентрации газовой фазы  $y_k$ ,  $y_H$ , % в относительно массовые согласно [2, с 206] по формуле:

$$\bar{Y}_H := \frac{M_{H_2S}}{M_{газа}} \cdot \frac{y_H}{100 - y_H} = 0.104 \quad \text{кг/кг}, \quad (2)$$

$$\bar{Y}_K := \frac{M_{H_2S}}{M_{газа}} \cdot \frac{y_K}{100 - y_K} = 1.97 \times 10^{-4} \quad \text{кг/кг}, \quad (3)$$

Степень извлечения определим согласно [3, с 207] по формуле:

$$\bar{Y}_K = \bar{Y}_H(1 - \varepsilon), \quad (4)$$

$$\varepsilon = \frac{-(1.97 \cdot 10^{-4})}{0.104} = 0.998, \quad (5)$$

Количество поглощаемого сероводорода определяем по формуле:

$$G := \frac{V \cdot \bar{Y}_H \cdot M_{H_2S} \cdot \varepsilon}{22.4} = 0.438 \quad \text{кг/с}, \quad (6)$$

Конечную концентрацию сероводорода в моноэтанолаmine принимаем как теоретическое значение по уравнению материального баланса для того, чтобы был достигнут наиболее эффективный уровень расхода абсорбента. Уравнение равновесной линии концентраций имеет вид:

$$y^* = mx^*, \quad (7)$$

Где  $m$  - коэффициент распределения, для смеси  $H_2S$  и  $C_2H_7NO$   $m = 2.51$  [1].

Зададимся значениями  $\bar{x}$  от 0 до 0.045 и рассчитаем соответствующие им значения равновесных концентраций, результаты представлены в таблице 1:

Таблица 1 - Равновесные составы

$\bar{x}$ , кг/кг	0	$0.078 \cdot 10^{-4}$	0.01	0.02	0.03	0.035	0.041
$\bar{y}$ , кг/кг	0	$1.97 \cdot 10^{-4}$	0.0251	0.0502	0.0753	0.0875	0.104

Чтобы построить равновесную линию концентраций необходимо определить конечную концентрацию  $\text{H}_2\text{S}$  в поглотителе. Так как данная величина обуславливает расход поглотителя, размеры абсорбера, гидравлическое сопротивление и энергетические затраты, определяем его приняв рациональный расход увеличенный в 1.5 раз больше минимального.

Из уравнения материального баланса:

$$M = L_{\text{мин}}(x_{\text{р}}^{\text{х}} - X_{\text{н}}) = 1.5L(x_{\text{р}}^{\text{х}} - X_{\text{н}}), \quad (8)$$

Где  $x_{\text{р}}^{\text{х}}$  концентрация  $\text{H}_2\text{S}$  в моноэтанолаmine, равновесная исходным составом газа.

$$\bar{X}_{\text{к}} := \frac{(x_{\text{ун}}^{\text{х}} + 0.5 \cdot \bar{X}_{\text{н}})}{1.5}, \quad (9)$$

Концентрация  $x_{\text{ун}}^{\text{х}}$  исходя из начальной равновесной концентрации  $\text{H}_2\text{S}$  в газе составляет 0.041 кг/кг, тогда:

$$X_{\text{к}} = \frac{(0.041 + 0 \cdot 0.5)}{1.5} = 0.027 \text{ кг/кг}, \quad (10)$$

Посчитав все начальные и конечные концентрации исходя из уравнения материального баланса определим расход инертной части поглотителя:

$$M := 0.438(0.104 - 1.97 \times 10^{-4}) = 0.045, \quad (11)$$

$$L := \frac{0.045}{0.027 - 0} = 1.667 \text{ кг/с}, \quad (12)$$

Удельный расход моноэтаноламина на 1 кг инертной части газа:

$$l := \frac{L}{G} = 3.807 \frac{\text{кг}}{\text{кг}}, \quad (13)$$

## 2.2 Определение движущей силы

Движущая сила процесса абсорбции различна для каждой точки абсорбера, и представляет собой разность рабочей и равновесной концентрацией, для расчета среднего значения движущей силы необходимо вычислить ее значение в верхней и нижней точках абсорбера.

Среднее значение движущей силы определим исходя из большего и меньшего его значения по формуле:

$$\Delta y^-_{\text{ср}} := \frac{\Delta y^-_{\text{б}} - \Delta y^-_{\text{м}}}{\ln\left(\frac{\Delta y^-_{\text{б}}}{\Delta y^-_{\text{м}}}\right)} \quad \frac{\text{кг}}{\text{кг}} \quad (14)$$

Где:

$$\Delta y^-_{\text{б}} = Y^-_{\text{н}} - y^{\text{хк}}$$

$$\Delta y^-_{\text{м}} = Y^-_{\text{к}} - y^{\text{хн}}$$

$y^{\text{хк}}$ ,  $y^{\text{хн}}$  - концентрации  $\text{H}_2\text{S}$  в газе, равновесные с концентрациями в моноэтанолаmine на входе и на выходе колонного аппарата.

Подставив начальную и конечную концентрацию сероводорода в абсорбенте в уравнение равновесной линии получим:

$$y^{\text{хк}} = 0.68 \text{ кг/кг}$$

$$y^{\text{хн}} = 0 \text{ кг/кг}$$

Тогда:

$$\Delta y^-_{\text{б}} := 0.104 - 0.068 = 0.036 \text{ кг/кг}$$

$$\Delta y^-_{\text{м}} := 1.97 \times 10^{-4} - 0 = 1.97 \times 10^{-4} \text{ кг/кг}$$

$$\Delta y^-_{\text{ср}} := \frac{\Delta y^-_{\text{б}} - \Delta y^-_{\text{м}}}{\ln\left(\frac{\Delta y^-_{\text{б}}}{\Delta y^-_{\text{м}}}\right)} = 6.875 \times 10^{-3} \text{ кг/кг}$$

## 2.3 Определение теоретического числа ступеней процесса абсорбции

Для того чтобы определить теоретическое число ступеней необходимо построить рабочую линию и линию равновесных концентраций.

Уравнение рабочей линии имеет вид:

$$y^- = lx^- + B, (15)$$



$$B := \bar{Y}_H - \left(\frac{L}{G}\right) \cdot \bar{X}_K, \quad (16)$$

$$B := 0.104 - 3.807 \cdot 0.027 = 1.211 \times 10^{-3}$$

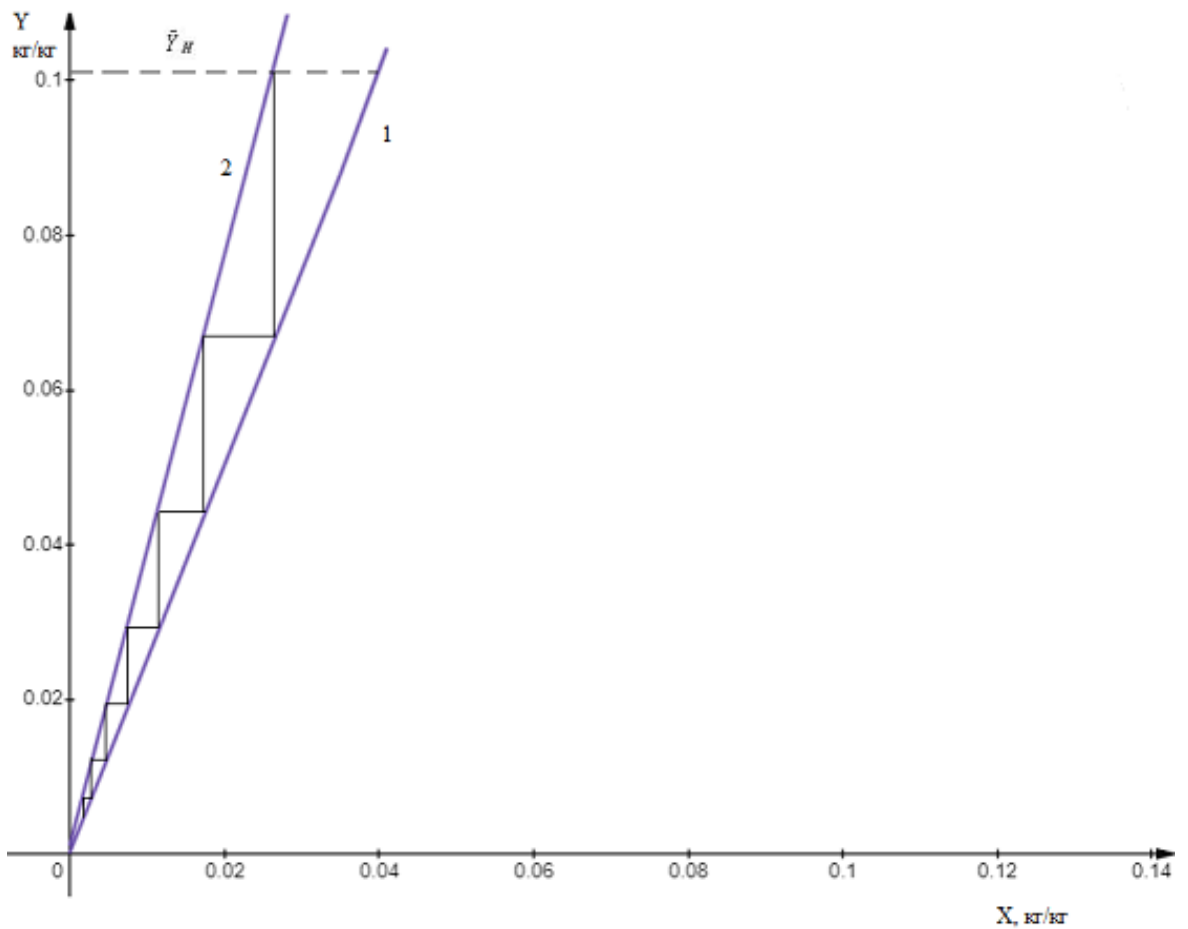


Рисунок 3 - График рабочей и равновесной концентраций

1 равновесная, 2 рабочая

Исходя из графика определили, что число теоретических ступеней  $n = 6$

Средняя движущая сила процесса абсорбции составит:

$$\Delta Y_{\text{ср}} := \frac{0.104 - 1.97 \times 10^{-4}}{6} = 0.017 \quad \text{кг/кг}, \quad (17)$$

#### 2.4 Расчет коэффициента массопередачи

Для определения коэффициента массопередачи воспользуемся уравнением аддитивности фазовых диффузионных сопротивлений [4, с.287]:

$$K_y := \frac{1}{\frac{1}{\beta_y} + \frac{m}{\beta_x}} \text{ кг/(м}^2\text{с)} , \quad (18)$$

$$K_x := \frac{1}{\frac{1}{m \cdot \beta_y} + \frac{1}{\beta_x}} \text{ кг/(м}^2\text{с)} , \quad (19)$$

Для определения коэффициента массоотдачи газа  $\beta_y$  воспользуемся уравнением [5, с. 703]:

$$\beta_y := 0167 \cdot \left(\frac{D_y}{d_s}\right) \cdot Re_y^{0.74} \times Pr_y^{0.33} \cdot \left(\frac{1}{d_s}\right)^{-0.47} \text{ кг/(м}^2\text{с)} , \quad (20)$$

Где:

$D_y$  – коэффициент диффузии  $H_2S$  в газе при рабочих условиях;

$\rho_y$  – средняя плотность газовой фазы при рабочих условиях,  $\text{кг/м}^3$ ;

$d_s$  – эквивалентный диаметр насадки, м;

$P_{ит}$  – среднее парциальное давление газовой смеси, кПа;

$M_{газа}$  – средняя молекулярная масса газовой смеси,  $\text{кг/кмоль}$ .

Выбираем тип насадки не регулярные насадки "керамические кольца Рашига", характеристики выбранной насадки представлены в таблице 2. Выбранный тип насадки является устойчивым к агрессивному воздействию сернистых соединений. Обладая достаточно низкой массой по отношению к насадкам аналогам, керамические кольца Рашига уменьшают давление на опорную решетку, а благодаря особенностям своей формы они способствуют равномерному распределению жидкой фазы по поверхности насадки в виде тонкого слоя.

Таблица 2 - Характеристики насадки

Вид насадки	Удельная поверхность, $\text{м}^2/\text{м}^3$	Свободный объем, $\text{м}^3/\text{м}^3$	Эквивалентный диаметр, м	Количество штук в $1 \text{ м}^3$	Масса $1 \text{ м}^3$ насадки, кг
<i>Керамические кольца Рашига</i>					
50*50*5 мм	87,5	0,785	0,036	6000	530

Критерий Рейнольдса определяется по формуле:

$$Re_y := \frac{\omega \cdot d_s \cdot \rho_y}{E \cdot \mu_y} , \quad (21)$$

Из характеристик насадки:

$$d_3 = 0.036 \text{ м}$$

$$E = 0.785 \text{ м}^3/\text{м}^3$$

$$a = 87.5 \text{ м}^2/\text{м}^3$$

Вязкость сероводорода при температуре 40 °С [6]:

$$\mu_y = 0.01398 \cdot 10^{-3}$$

Плотность газа при условиях работы абсорбера считаем по формуле:

При:

$$T_0 = 273 \text{ К} \quad \text{Абсолютная температура}$$

$$T = 313 \text{ К} \quad \text{Температура в абсорбере}$$

$$\rho_y := \frac{T_0 \cdot M_{\text{газа}}}{T \cdot 22.4} = 0.674 \text{ кг/м}^3, \quad (22)$$

Для определения рабочей скорости газа в колонне необходимо определить предельную скорость, выше которой происходит захлебывание абсорбера (нарушение устойчивого стационарного течения). Предельная скорость газа рассчитывается по уравнению [7]:

$$\log \left[ \frac{\omega_{\text{пп}}^2 \cdot a}{g \cdot E^3} \cdot \frac{\rho_y}{\rho_x} \cdot \left( \frac{\mu_y}{\mu_x} \right)^2 \right] := A - B \cdot \left( \frac{L}{G} \right)^{0.25} \cdot \left( \frac{\rho_x}{\rho_y} \right)^{0.125}, \quad (23)$$

Где:

A, B – коэффициенты, зависящие от типа насадки [8]: A = -0.073, B = 1.75;

Ускорение свободного падения, g = 9.81 Н/кг;

Плотность моноэтаноламина в абсорбере,  $\rho_x = 1012 \text{ кг/м}^3$ ;

Динамическая вязкость моноэтаноламина при температуре 40°С,  $\mu_x = 0.019 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с}$ .

Подставим все значения в вышеуказанное уравнение 23:

$$\log \left[ \frac{\omega_{\text{пп}}^2 \cdot 87.5}{9.81 \cdot 0.785^3} \cdot \frac{0.674}{1012} \cdot \left( \frac{0.01398 \cdot 10^{-3}}{0.019 \cdot 10^{-3}} \right)^2 \right] := -0.073 - 1.75 \cdot \left( \frac{1.667}{0.438} \right)^{0.25} \cdot \left( \frac{1012}{0.674} \right)^{0.125}$$

Тогда:

$$\log(\omega_{\text{пп}}^2 \cdot 0.09) := -6.171 \quad \omega_{\text{пп}} := 6.5 \text{ м/с}$$

Рабочую скорость газа в колонне примем равной  $\omega = 0.4\omega_{\text{пр}}$

$$\text{Re}_y := \frac{2.6 \cdot 0.036 \cdot 0.674}{0.785 \cdot (1.398 \times 10^{-5})} = 5.749 \times 10^3$$

Коэффициент диффузии сероводорода в смеси можно рассчитать по уравнению:

$$D_y := \frac{4.3 \cdot 10^{-8} \cdot T^{1.5}}{P \cdot \left( \frac{1}{\nu_{\text{H}_2\text{S}}^3} + \frac{1}{\nu_{\text{газа}}^3} \right)} \cdot \sqrt{\frac{1}{M_{\text{H}_2\text{S}}} + \frac{1}{M_{\text{газа}}}} \quad , \quad (24)$$

Плотность  $\text{H}_2\text{S}$  в жидком состоянии при нормальной температуре кипения:

$$\rho_{\text{H}_2\text{S}} = 963 \text{ кг/м}^3$$

$$\nu_{\text{H}_2\text{S}} := \frac{M_{\text{H}_2\text{S}} \cdot 10^{-3}}{\rho_{\text{H}_2\text{S}}} = 3.539 \times 10^{-5} \frac{\text{м}^3}{\text{моль}} \quad \text{или} \quad \nu_{\text{H}_2\text{S}} := 35.4 \frac{\text{см}^3}{\text{моль}}$$

Плотность газа в жидком состоянии  $\rho_{\text{газа}} = 400 \text{ кг/м}^3$

$$\nu_{\text{газа}} := \frac{M_{\text{газа}} \cdot 10^{-3}}{\rho_{\text{газа}}} = 4.324 \times 10^{-5} \quad \text{или} \quad \nu_{\text{газа}} := 43.24 \frac{\text{см}^3}{\text{моль}}$$

Подставив полученные значения в уравнение получим:

$$D_y := \frac{4.3 \cdot 10^{-8} \cdot 313^{1.5}}{0.16 \cdot \left( \frac{1}{35.4^3} + \frac{1}{43.24^3} \right)} \cdot \sqrt{\frac{1}{34.082} + \frac{1}{17.298}} = 6.467 \times 10^{-5} \frac{\text{м}^2}{\text{с}}$$

Для расчета диффузионного критерия Прандтля воспользуемся уравнением:

$$\text{Pr}_y := \frac{\mu_y}{\rho_y \cdot D_y} = 0.321 \quad , \quad (25)$$

Коэффициент массоотдачи в газовой фазе составит:

$$\beta_y := 0.167 \cdot \left( \frac{6.467 \times 10^{-5}}{0.036} \right) \cdot (5.749 \times 10^3)^{0.74} \cdot \left[ 0.321^{0.33} \cdot \left( \frac{1}{0.036} \right)^{-0.47} \right] = 0.014 \text{ м/с}$$

Коэффициент массоотдачи в жидкой фазе рассчитывается по формуле:

$$\beta_x := \frac{\text{Nu}_x \cdot D_x}{\delta_{\text{пр}}} \quad , \quad (26)$$

Где:

$D_x$  – средний коэффициент диффузии  $H_2S$  в моноэтанолаmine,  $m^2/c$ ;

$\delta_{пр}$  – приведенная толщина стекающей пленки жидкости, м.

$$Nu_x := 0.0021 \cdot Re_x^{0.75} \cdot Pr_x^{0.5} \quad , \quad (27)$$

Подставив уравнение 27 в уравнение для определения  $\beta_x$  получим:

$$\beta_x := \frac{D_x \cdot (0.0021 \cdot Re_x^{0.75} \cdot Pr_x^{0.5})}{\delta_{пр}}$$

Для определения коэффициента диффузии при 20 °C воспользуемся приближенной формулой [4]:

$$D_{20} := \frac{10^{-6}}{A \cdot B \cdot \sqrt{\mu_x} \cdot \left( \nu_{H_2S}^{\frac{1}{3}} + \nu_{C_2H_7NO}^{\frac{1}{3}} \right)^2} \cdot \sqrt{\frac{1}{M_{H_2S}} + \frac{1}{M_{C_2H_7NO}}} \quad , \quad (28)$$

Где:

A, B - безразмерные коэффициенты, величина которых зависит от свойств  $H_2S$  и  $C_2H_7NO$ ;

$\mu_x$  - динамический коэффициент вязкости жидкости;

$M_{H_2S}$ ,  $M_{C_2H_7NO}$  - молярные массы  $H_2S$  и  $C_2H_7NO$ ;

$\nu_{H_2S}$ ,  $\nu_{C_2H_7NO}$  - молярные объемы  $H_2S$  и  $C_2H_7NO$ .

$$M_{C_2H_7NO} := 61.08 \quad \text{г/моль}$$

$$\nu_{C_2H_7NO} := \frac{M_{C_2H_7NO} \cdot 10^{-3}}{\rho_x} = 6.036 \times 10^{-5} \quad \frac{m^3}{\text{моль}} \quad \text{или} \quad \nu_{C_2H_7NO} := 60.36 \quad \frac{cm^3}{\text{моль}}$$

Коэффициенты A, B принимаем равными [4]: A = 1.24, B = 2.

Тогда:

$$D_{20} := \frac{10^{-6}}{1.24 \cdot 2 \cdot \sqrt{1.9 \times 10^{-5}} \cdot \left( 35.4^{\frac{1}{3}} + 60.36^{\frac{1}{3}} \right)^2} \cdot \sqrt{\frac{1}{34.082} + \frac{1}{61.08}} = 3.809 \times 10^{-7} \quad \frac{m^2}{c}$$

Воспользуемся приближенной зависимостью для определения коэффициента диффузии при температуре 40 °C [4]:

$$D_x := D_{20} \cdot [1 + b \cdot (t - 20)] \quad , \quad (29)$$

Для определения температурного коэффициента  $b$  существует эмпирическая формула [4]:

$$b := 0.2 \cdot \frac{\sqrt{\mu_x}}{\sqrt[3]{\rho_x}} = 8.683 \times 10^{-5} \quad , \quad (30)$$

$$t := 40 \quad ^\circ\text{C}$$

$$D_x := 3.809 \times 10^{-7} \cdot [1 + 8.683 \times 10^{-5} \cdot (40 - 20)] = 3.816 \times 10^{-7}$$

Приведенная толщина стекающей пленки жидкости рассчитывается по формуле [10]:

$$\delta_{\text{пр}} := \left( \frac{\mu_x^2}{g \cdot \rho_x} \right)^{\frac{1}{3}} = 3.3 \times 10^{-6} \quad \text{м} \quad , \quad (31)$$

Диффузионный критерий Прандтля рассчитывается по уравнению:

$$\text{Pr}_x := \frac{\mu_x}{\rho_x \cdot D_x} = 0.049 \quad , \quad (32)$$

Критерий Рейнольдса для стекающей по насадке тонкой пленки жидкости рассчитывается по уравнению:

$$\text{Re}_x := \frac{4 \cdot L}{a \cdot \mu_x \cdot S_k} \quad , \quad (33)$$

Где  $S_k$  - площадь поперечного сечения колонны, рассчитывается по формуле:

$$S_k := 0.785 \cdot D^2 \quad \text{м}^2 \quad , \quad (34)$$

Из уравнения расхода определим диаметр абсорбционной колонны:

$$D := \sqrt{\frac{4 \cdot V \cdot \frac{T_0 + t}{T_0} \cdot \frac{P_0}{P}}{\pi \cdot \omega}} \quad \text{м.} \quad (35)$$

$$D := \sqrt{\frac{4 \cdot 2.78 \cdot \frac{274 + 40}{273} \cdot \frac{1.6 \cdot 10^5}{1.013 \cdot 10^5}}{3.14 \cdot 2.6}} = 1.573 \quad \text{м}$$

Принимаем ближайший диаметр колонны из стандартного ряда значений  $D = 1.6$  м [9]:

Площадь поперечного сечения колонны составит:

$$S_K := 0.785 \cdot 1.6^2 = 2.01 \quad \text{м}^2$$

Величина критерия Рейнольдса составила:

$$Re_x := \frac{4 \cdot 1.667}{87.5 \cdot (1.9 \times 10^{-5}) \cdot 2.01} = 1.995 \times 10^3$$

Подставив все полученные значения в уравнение для определения коэффициента массоотдачи получим:

$$\beta_x := \frac{3.816 \times 10^{-7} \cdot \left[ 0.0021 \cdot (1.995 \times 10^3)^{0.75} \cdot 0.049^{0.5} \right]}{3.3 \times 10^{-6}} = 0.016$$

Выразим полученные значения коэффициентов в используемую размерность:

$$\beta'_y := \beta_y \cdot (\rho_y - y_{cp}) \quad , \quad (36)$$

Где  $y_{cp}$  - средняя концентрация  $H_2S$  в газе:

$$y_{cp} := \frac{y_H + y_K}{2}$$

$$y_{cp} := \frac{0.05 + 0.0001}{2} = 0.025$$

Тогда:

$$\beta'_y := 0.014 \cdot (0.674 - 0.025) = 9.086 \times 10^{-3}$$

$$\beta'_x := \beta_x \cdot (\rho_x - x_{\text{ср}})$$

$$x_{\text{ср}} := \frac{\bar{X}_K + \bar{X}_H}{2}$$

$$x_{\text{ср}} := \frac{0.027 + 0}{2} = 0.014$$

Тогда:

$$\beta'_x := 0.016 \cdot (1.012 \times 10^3 - 0.014) = 16.192$$

Исходя из полученных значений определим коэффициенты массопередачи:

$$K_y := \frac{1}{\frac{1}{9.049 \times 10^{-3}} + \frac{2.51}{16.274}} = 9.036 \times 10^{-3} \text{ кг/(м}^2\text{с)}$$

$$K_x := \frac{1}{\frac{1}{2.51 \cdot (9.049 \times 10^{-3})} + \frac{1}{16.274}} = 0.023 \text{ кг/(м}^2\text{с)}$$

## 2.5 Расчет высоты абсорбера

Высоту насадки рассчитываем исходя из необходимой поверхности массопередачи по уравнению:

$$H := \frac{F}{0.785 \cdot a \cdot D^2 \cdot \psi} \quad , \quad (37)$$

Где  $\psi$  - доля активной поверхности насадки определяется по формуле:

$$\psi := \frac{U}{a \cdot (p + q \cdot U)} \quad , \quad (38)$$

$p, q$  - коэффициенты, зависящие от насадки:  $p = 0.667 \cdot 10^{-5}$ ;  $q = 0.012$ .

$U$  - плотность орошения,  $\text{м}^3/\text{м}^2\text{с}$

$$U := \frac{L}{0.785 \cdot D^2 \cdot \rho_x} = 8.195 \times 10^{-4} \quad , \quad (39)$$

$$\psi := \frac{8.195 \times 10^{-4}}{87.5 \cdot [0.667 \cdot 10^{-5} + 0.012 \cdot (8.195 \times 10^{-4})]} = 0.567$$

Из основного уравнения массопередачи определим требуемую поверхность массопередачи:



$$F := \frac{M}{K_y \cdot \Delta Y_{cp}} \quad , \quad (40)$$

$$F := \frac{M}{K_y \cdot \Delta Y_{cp}} = 290.824 \quad \text{м}^2$$

Высота насадки составит:

$$H := \frac{290.824}{0.785 \cdot 87.5 \cdot 1.6^2 \cdot 0.567} = 2.917 \quad \text{м}$$

Конечную высоту колонны рассчитаем по формуле:

$$H_k = H + h_b + h_n \quad , (41)$$

Где  $h_n$  и  $h_b$  - расстояние между дном абсорбера и насадкой, расстояние от верха насадки до крышки абсорбера.

Данные величины конструктивно принимаются в зависимости от технологических особенностей процесса абсорбции, величина  $h_n$  принимается в зависимости от необходимости распределения газовой фазы по поперечному сечению абсорбера, а величина  $h_b$  принимается в зависимости от высоты сепарационного пространства и от габаритов распределительного устройства.

Величины  $h_n$  и  $h_b$  принимаем равными [11]:  $h_n = 2.5$  м,  $h_b = 1.4$  м.

Подставляем полученные величины в уравнение, определяющее высоту абсорбера:

$$H_k = 2.917 + 2.5 + 1.4 = 6.817 \text{ м}$$

Принимаем высоту равную:  $H_k = 6850$  мм

## 2.6 Расчет гидравлического сопротивления абсорбера

Технологический режим работы абсорбера напрямую зависит от величины гидравлического сопротивления колонного аппарата.

Подбор вспомогательного оборудования для подачи газовой или жидкой среды, обеспечивающие оптимальные скорости фазовых потоков осуществляется исходя из гидравлического сопротивления абсорбера.

Для определения величины гидравлического сопротивления воспользуемся формулой [12, с 201]:

$$\Delta P := \Delta P_c \cdot 10^{b \cdot U} \quad , \quad (41)$$

Где:

$\Delta P_c$  - гидравлическое сопротивление сухой (неорошаемой жидкостью) насадки, Па;

$U$  - плотность орошения, м/с;

$b = 169$  – коэффициент, для колец Рашига внавал (50 мм) .

$$\Delta P_c := \lambda \cdot \frac{H}{d_3} \cdot \frac{\omega_r^2}{2} \cdot \rho_y \quad , \quad (42)$$

$\omega_r$  - скорость газа в свободном сечении, в зависимости от доли свободного объема и рабочей скорости потока газа рассчитывается по формуле:

$$\omega_r := \frac{\omega_{\text{гп}}}{E} = 8.28 \quad \frac{\text{м}}{\text{с}} \quad , \quad (43)$$

$\lambda$  - коэффициент сопротивления насадки. Для беспорядочно насыпанных кольцевых насадок рассчитывается по формуле:

$$\lambda := \frac{16}{Re_y^{0.2}} = 2.833 \quad , \quad (44)$$

Тогда гидравлическое сопротивление сухой насадки составит:

$$\Delta P_c := 2.833 \cdot \frac{2.917}{0.036} \cdot \frac{8.28^2}{2} \cdot 0.674 = 5.304 \times 10^3 \quad \text{Па}$$

Величина гидравлического сопротивления составила:

$$\Delta P := 5.304 \times 10^3 \cdot 10^{169 \cdot (8.195 \times 10^{-4})} = 7.296 \times 10^3 \quad \text{Па}$$

### 3. РАСЧЕТ ВСПОМОГАТЕЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Рассчитаем центробежный насос для подачи моноэтаноламина в абсорбер.

#### Исходные данные:

Производительность по абсорбенту,  $L = 1.667$  кг/с

Плотность абсорбента,  $\rho_x = 1.012 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>

Длина линии нагнетания, 10 м

Длина на линии всасывания, 30 м

Геометрическая высота подъема, принимается конструктивно, 10 м

Общий КПД насосной установки –  $\eta = 0.6$

На линии всасывания 1 вентиль, дроссельная задвижка

На линии нагнетания 1 вентиль

Трубопровод имеет одно колено

Скорость движения жидкости в трубопроводе предварительно принимаем

$$\omega_{ж} = 2 \text{ м/с}$$

Диаметр трубопровода рассчитывается по формуле:

$$d_{тр} := \sqrt{\frac{4 \cdot L}{\pi \cdot \rho_x \cdot \omega_{ж}}} \quad , \quad (45)$$

$$d_{тр} := \sqrt{\frac{4 \cdot 1.667}{3.14 \cdot 1012 \cdot 2}} = 0.032 \quad \text{м}$$

Принимаем стандартный диаметр трубопровода:  $d_{тр} = 0.15$  м

Толщина стенки трубы 2.5 мм, тогда внутренний диаметр составит:  $d_{вн} = 0.1$  м

Уточненная скорость движения жидкости:

$$\omega_{ж} := \frac{4 \cdot L}{\pi \cdot \rho_x \cdot d_{вн}^2} = 0.21 \quad \frac{\text{м}}{\text{с}} \quad , \quad (46)$$

Развиваемое насосом давление рассчитывается по формуле [4, с. 21]:

$$\Delta P := \Delta P_{ск} + \Delta P_{тр+мс} + \Delta P_{под} + \Delta P_{изб} \quad , \quad (47)$$

Где:

$\Delta P_{\text{ск}}$  – затраты на создание скорости потока в трубопроводе, Па;

$\Delta P_{\text{тр+мс}}$  – потеря давления на преодоление местных сопротивлений и трения, Па;

$\Delta P_{\text{под}}$  – затрата давления на подъем жидкости, Па;

$\Delta P_{\text{изб}}$  - избыточное давление перед распылителем, Па.

Требуемое давление для поддержания заданной скорости потока в трубопроводе рассчитывается по формуле:

$$\Delta P_{\text{ск}} := \frac{\omega_{\text{ж}}^2 \cdot \rho_{\text{ж}}}{2} = 22.249 \quad \text{Па} \quad , \quad (48)$$

Потеря давления на преодоление местных сопротивлений и трения определяется по формуле:

$$\Delta P_{\text{тр+мс}} := \left( 1 + \sum \xi_i + \lambda \cdot \frac{1}{d_{\text{вн}}} \right) \cdot \Delta P_{\text{ск}} \quad , \quad (49)$$

Где:

$\lambda = 0.3$  – коэффициент трения, определяется по [8, с. 22];

$\xi_i$  – коэффициенты местных сопротивлений.

Обозначение	$\xi_1$ - вход в трубу с острыми краями	$\xi_2$ - выход из трубы	$\xi_3$ -вентиль нормальный, 2 штуки	$\xi_4$ - колено под углом 90°
Величина	0.5	1	2*5.3 = 10.6	1.6

$$\sum \xi_i := 0.5 + 1 + 10.6 + 1.6 = 13.7$$

Потеря давления на преодоление местных сопротивлений и трения составит:

$$\Delta P_{\text{тр+мс}} := \left( 1 + 13.7 + 0.03 \cdot \frac{1}{0.1} \right) \cdot 22.249 = 352.47 \quad \text{Па}$$

Затраты, необходимые для обеспечения подъема жидкости рассчитываются по формуле:

$$\Delta P_{\text{под}} := \rho_x \cdot g \cdot H \quad , \quad (50)$$

$$\Delta P_{\text{под}} := 1.012 \times 10^3 \cdot 9.81 \cdot 10 = 9.928 \times 10^4 \quad \text{Па}$$

Избыточное давление рассчитаем по формуле:

$$\Delta P_{\text{изб}} := P - P_{\text{атм}} \quad , \quad (51)$$

$$\Delta P_{\text{изб}} := 160000 - 101325 = 5.867 \times 10^4 \quad \text{Па}$$

Тогда давление, развиваемое насосом составит:

$$\Delta P = 22.249 + 352.47 + 9.928 \times 10^4 + 5.867 \times 10^4 = 1.583 \times 10^5 \quad \text{Па}$$

Мощность, потребляемую двигателем насоса определяем по формуле:

$$N := \frac{V_{\text{ж}} \cdot \Delta P}{1000 \eta} \quad , \quad (52)$$

Где,  $V_{\text{ж}}$  – объем жидкости,  $\text{м}^3/\text{с}$

$$V_{\text{ж}} := \frac{L}{\rho_x} = 1.647 \times 10^{-3}$$

Тогда потребляемая двигателем насоса мощность составила:

$$N := \frac{1.647 \times 10^{-3} \cdot (1.583 \times 10^5)}{0.6 \cdot 1000} = 0.435 \quad \text{кВт}$$

По [12, с. 38] выбираем насос марки Х45/21 со следующими характеристиками:

Производительность Q, $\text{м}^3/\text{с}$	$1.25 \cdot 10^{-2}$
Напор столба жидкости H, м	17.3
Число оборотов n, об/с	48,3
Тип электродвигателя	ВАО-52-2
Мощность электродвигателя $N_n$ , кВт	13

## 4. МЕХАНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ АБСОРБЕРА

Целью механического расчета является проверка на прочность обечайки, фланцев, днищ и т.д. а также определение их геометрических размеров и расчет толщины стенки.

### Исходные данные:

Высота цилиндрической обечайки	$H = 6850$ мм
Внутренний диаметр	$D = 1600$ мм
Рабочее давление	$P = 0.16$ МПа
Температура в стенке	$t_c = 40$ °С
Срок эксплуатации	$\tau = 15$ лет

### 4.1 Выбор конструкционных материалов

Химическое оборудование на производстве зачастую эксплуатируется в условиях повышенного давления, широкого диапазона температур и воздействия разрушающих, агрессивных веществ. Для того чтобы обеспечить долговечность и надежность конструкции оборудования необходимо исходя из условий эксплуатации правильно подобрать материалы для его изготовления.

Для проведения процесса абсорбции сероводорода из газовой смеси раствором моноэтаноламина был выбран насадочный абсорбер с насыпной насадкой.

Вне зависимости от условий эксплуатации сероводород способен стать причиной серьезных коррозионных разрушений. Данное соединение способствует возникновению электрохимической коррозии и сероводородного растрескивания для которого характерно межкристаллитное разрушения металла.

По [13, с 58] были выбраны 2 стали 12X18H10T и 08X18H10T они относятся к классу нержавеющей легированных жаропрочных аустенитных

сталей, данные виды сталей используются для изготовления сварных изделий, работающих в средах повышенной коррозионной активности при температурах ниже 600 градусов. Стоимость данных материалов отличается незначительно, однако главное отличие стали 12X18H10T от 08X18H10T заключается в том, что второй тип имеет повышенную сопротивляемость межкристаллитной коррозии, исходя из этого была выбрана сталь 08X18H10T.

## 4.2 Определение расчетных параметров

### Расчет допускаемых напряжений

Расчетная температура стенки обечайки:

$$t_p = t_c$$

$$t_p = \max(t_c, 20) = 40 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Так как аппарат изготавливается из листового проката, поправочный коэффициент принимаем равным:  $\eta=1$

Допускаемое напряжения для стали 08X18H10T при температуре 20 °C [14]:

$$\sigma_{20} = 168 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{д20} = \eta\sigma_{20} = 168 \text{ МПа}$$

Допускаемое напряжение в рабочем состоянии определяем интерполируя стандартные значения с округлением в меньшую сторону в пределах 0,5 МПа [14]:

$$t := \begin{pmatrix} 20 \\ 100 \end{pmatrix} \text{ } ^\circ\text{C} \quad \sigma := \begin{pmatrix} 168 \\ 156 \end{pmatrix} \text{ МПа}$$

$$\sigma := \text{Floor}(\text{linterp}(t, \sigma, t_p), 0.5) = 165 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{д} := \eta \cdot \sigma = 165 \text{ МПа}$$

Допускаемое напряжение при гидравлических испытаниях:

Коэффициент запаса прочности при гидравлических испытаниях согласно таблице 1 [14]:  $n_T = 1.1$

Расчетное значение предела текучести для стали 08X18H10T при 20 °С по таблице Б.7 [14]:  $R_{p1.0} = 252$  МПа

Для условий испытания сосудов из аустенитных сталей, допускаемое напряжение определяется по формуле:

$$\sigma_H := \eta \cdot \text{Floor}\left(\frac{R_{p1.0}}{n_T}, 0.5\right) = 229 \text{ МПа}$$

### Расчет модуля продольной упругости

Модуль упругости для стали 08X18H10T при температуре испытания 20°С по таблице В.1 [14]:

$$E_{20} = 2 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

Расчетное значение модуля продольной упругости при расчетной температуре:

$$t := \begin{pmatrix} 20 \\ 100 \end{pmatrix} \text{ } ^\circ\text{C} \quad E := \begin{pmatrix} 2 \cdot 10^5 \\ 2 \cdot 10^5 \end{pmatrix} \text{ МПа}$$

$$E := \text{Floor}(\text{linterp}(t, E, t_p), 0.5) = 2 \times 10^5 \text{ МПа}$$

### Определение расчетного давления

Расчетное давление принимаем равным рабочему согласно [14, с 5]:

$$P_p = P = 0.16 \text{ МПа}$$

Гидравлическое испытание сосудов будет проводиться под пробным давлением, расчет которого ведется по формуле [14, с 15]:

$$P_H := 1.25 \cdot P \cdot \frac{\sigma_{д20}}{\sigma_{д}} = 0.204 \text{ МПа}$$

### Коэффициент прочности сварного шва

По таблице Д.1 [14] был выбран тип сварки - стыковой двусторонний с полным проплавлением или угловой двусторонний с полным проплавлением таврового соединения, выполняемый автоматической и полуавтоматической сваркой  $\varphi=1$ .



### **Расчет прибавок к расчетным толщинам**

Прибавку к расчетным толщинам вычисляют по формуле [14, с 7]:

$$c = c_1 + c_2 + c_3$$

Где:

$c_1$  - прибавка для компенсации коррозии и эрозии, мм;

$c_2$  - прибавка для компенсации минусового допуска, мм;

$c_3$  - прибавка для компенсации утонения стенки при технологических операциях, мм.

Скорость коррозии материала от действия заданной среды:

$$П = 0.3 \text{ мм/год}$$

Срок эксплуатации аппарата:

$$\tau = 15 \text{ лет}$$

Прибавка для компенсации коррозии и эрозии:

$$c_1 = П\tau = 4.5 \text{ мм}$$

Прибавка для компенсации минусового допуска:

$$c_2 = 0 \text{ мм}$$

Технологическая прибавка;

$$c_3 = 0 \text{ мм}$$

Прибавки к расчетным толщинам конструктивных элементов:

$$c = 4.5 + 0 + 0 = 4.5 \text{ мм}$$

### **4.3 Расчет толщины стенки**

Согласно [14], рассчитаем толщину стенки цилиндрической обечайки, а также проведем проверку на прочность стенки корпуса аппарата.

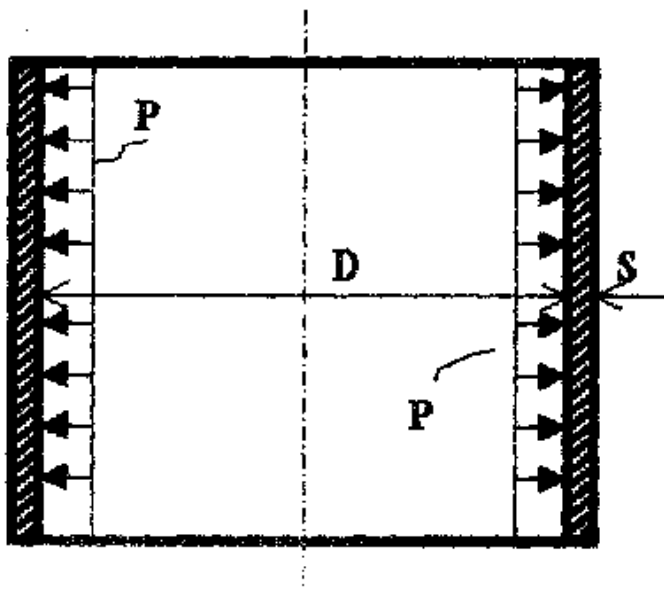


Рисунок 4 – Расчетная схема обечайки

Расчетная толщина стенки цилиндрической обечайки нагруженной внутреннем избыточным давлением рассчитывается по формуле [14]:

$$s_{p1} := \max \left( \left( \frac{P_p \cdot D}{2 \cdot \varphi \cdot \sigma_d - P_p} \right), \left( \frac{P_{II} \cdot D}{2 \cdot \varphi \cdot \sigma_{II} - P_{II}} \right) \right) = 0.776 \text{ мм} \quad (53)$$

Исполнительная толщина стенки цилиндрической обечайки:

$$s_{н1} = s_{p1} + c = 5.267 \text{ мм}$$

Из ряда стандартных значений принимаем толщину стенки равную:

$$s_1 = 6 \text{ мм}$$

Проверка условий применимости формул безмоментной теории:

$$\text{Проверка}_1 := \begin{cases} \text{"Условия применения формул безмомент. теории выполняются"} & \text{if } \frac{s_1 - c}{D} \leq 0.1 \\ \text{"Условия применения формул НЕ выполняются"} & \text{if } \frac{s_1 - c}{D} > 0.1 \end{cases}$$

Проверка<sub>1</sub> = "Условия применения формул безмомент. теории выполняются"

Расчет допускаемого внутреннего избыточного давления:

$$P_{д1} := \frac{2 \cdot \sigma_{д} \cdot \varphi \cdot (s_1 - c)}{D + (s_1 - c)} = 0.309 \quad \text{МПа} \quad , \quad (54)$$

$$P_{д\_исп1} := \frac{2 \cdot \sigma_{н} \cdot \varphi \cdot (s_1 - c)}{D + (s_1 - c)} = 0.429 \quad \text{МПа} \quad , \quad (55)$$

Проверка условия прочности стенок, цилиндрической обечайки от действия внутреннего давления:

$$\text{Проверка}_2 := \begin{cases} \text{"Условие прочности стенки выполняется"} & \text{if } \begin{cases} P_{д\_исп1} > P_{н} \\ P_{д1} > P_{р} \end{cases} \\ \text{"Условие прочности НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

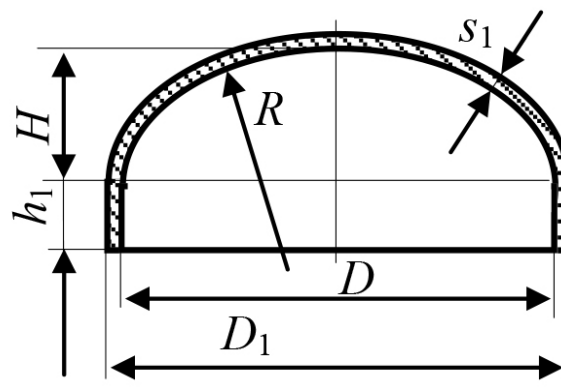
$\text{Проверка}_2 = \text{"Условие прочности стенки выполняется"}$

Принятая толщина стенки удовлетворяет условию прочности при рабочих и гидравлических условиях.

#### 4.4 Расчет толщины стенки эллиптической крышки и днища

В качестве материала для изготовления крышки и днища будем использовать ту же сталь, что и при изготовлении цилиндрической обечайки - сталь 08X18H10T.

В качестве типа исполнения были выбраны эллиптические днище и крышка. Эллиптическая форма, изготовленная горячей штамповкой способна выдерживать внутреннее избыточное давлением до 10 МПа и обладает выгодными технико - экономическими показателями.



## Рисунок 5 - Расчетная схема эллиптической крышки

Эллиптическая крышка, подвергающаяся воздействию только внутреннего давления, рассчитывается исходя из условия прочности по [14]:

Радиус кривизны в вершине крышки равен: (для эллиптических оболочек):

$$R_1 = D = 1.6 * 10^3 \text{ мм}$$

В соответствии с [15, с.2] высота эллиптической крышки рассчитывается по формуле:

$$H_1 = 0.25D = 400 \text{ мм}$$

Расчет толщины стенки эллиптической крышки (днища), находящейся в процессе проведения технологического процесса под действием внутреннего давления по формуле:

$$s_{p2} := \max \left( \left( \frac{P_p \cdot \frac{R_1}{2 \cdot \varphi \cdot \sigma_d - 0.5 \cdot P_p}}{R_1} \right), \left( \frac{P_{II} \cdot \frac{R_1}{2 \cdot \varphi \cdot \sigma_{II} - 0.5 \cdot P_{II}}}{R_1} \right) \right) = 0.776 \text{ мм} \quad (56)$$

Исполнительная толщина стенки аппарата:

$$S_{н2} = s_{p2} + c = 5.276 \text{ мм}$$

С учетом технологических прибавок исходя из стандартного ряда значений принимаем исполнительную толщину днища (крышки):  $s_2 = 6 \text{ мм}$

Проверка условий применимости формул безмоментной теории:

$$\text{Проверка}_5 := \begin{cases} \text{"Условия выполняются"} & \text{if } \begin{cases} 0.002 \leq \frac{s_2 - c}{D} \leq 0.1 \\ 0.2 \leq \frac{H_1}{D} \leq 0.5 \end{cases} \\ \text{"Условия применения формул НЕ выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

**Проверка<sub>5</sub> = "Условия выполняются"**

Расчет допускаемого внутреннего избыточного давления:

$$P_{д2} := \frac{2 \cdot \sigma_{д} \cdot \varphi \cdot (s_2 - c)}{R_1 + (s_2 - c)} = 0.309 \quad \text{МПа} \quad , (57)$$

$$P_{д\_исп2} := \frac{2 \cdot \sigma_{и} \cdot \varphi \cdot (s_2 - c)}{R_1 + (s_2 - c)} = 0.429 \quad \text{МПа} \quad , (58)$$

Проверка условия прочности стенки днища (крышки):

$$\text{Проверка}_6 := \begin{cases} \text{"Условие прочности стенки днища выполняется"} & \text{if } \begin{cases} P_{д2} > P_{р} \\ P_{д\_исп2} > P_{и} \end{cases} \\ \text{"Условие прочности НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

**Проверка<sub>6</sub> = "Условие прочности стенки днища выполняется"**

Таким образом принимаем толщину стенки эллиптической крышки и днища равной 6 мм.

#### 4.5 Расчет штуцеров

Штуцеры необходимы для герметичного соединения трубопроводов на подачу и отвод газовой и жидкой фаз с аппаратом.

Целью данного расчета является подбор штуцеров, а также их расчет на прочность.

Конструктивно по [16] принимаем штуцера типа 1 исполнение 1 - штуцера с фланцами стальными плоскими приварными с соединительным выступом на условное давление от 0,6 до 2,5 МПа и температуру от - 70 до 300 °С.

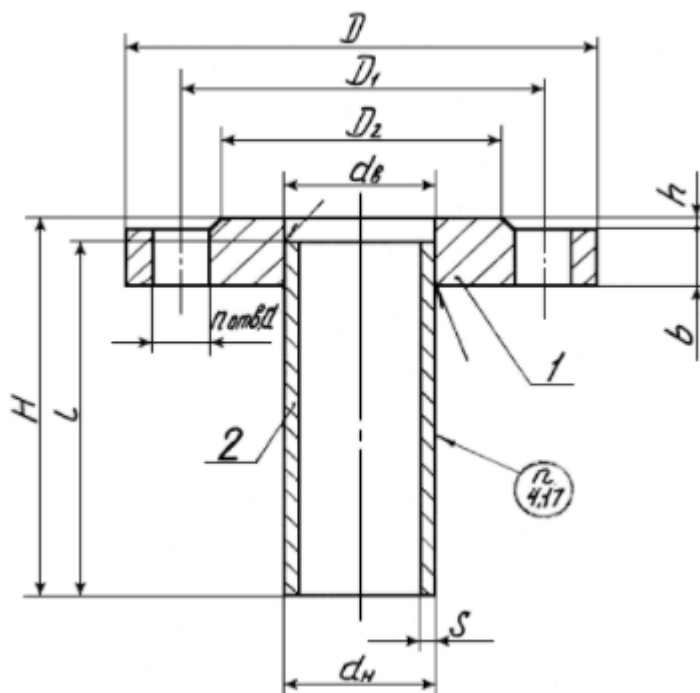


Рисунок 6 - Штуцера с фланцами приваренными встык с соединительным ВЫСТУПОМ

1 - фланец по ГОСТ 12820

2 – патрубок

**Исходные данные:**

Скорость движения жидкости,  $\omega_{ж} = 2$  м/с

Скорость движения газа,  $\omega_{г} = 8.28$  м/с

Производительность колонны по газовой фазе,  $V = 1.87$  кг/с

Количество поглощенного  $H_2S$ ,  $G = 0.438$  кг/с

Расход  $C_2H_7NO$  в абсорбере,  $L = 1.667$  кг/с

Плотность газовой смеси,  $\rho_{г} = 0.674$  кг/м<sup>3</sup>

Плотность жидкости,  $\rho_{ж} = 1012$  кг/м<sup>3</sup>

Диаметр штуцера для подачи газовой смеси:

$$d_1 = \sqrt{\frac{4 \cdot V}{\pi \cdot \rho_{г} \cdot \omega_{г}}} = 0.653 \quad \text{м} \quad , \quad (58)$$

Принимаем [16]:

Длина 260 мм

Толщина стенки 12 мм

$$D_y = 700 \text{ мм}$$

Диаметр штуцера для подачи жидкости:

$$d_2 := \sqrt{\frac{4 \cdot L}{\pi \cdot \rho_{\text{ж}} \cdot \omega_{\text{ж}}}} = 0.032 \quad \text{м}$$

Принимаем [16]:

Длина 150 мм

Толщина стенки 3 мм

$$D_y = 50 \text{ мм}$$

Диаметр штуцера для отвода газовой смеси:

$$d_3 := \sqrt{\frac{4 \cdot G}{\pi \cdot \rho_{\text{г}} \cdot \omega_{\text{г}}}} = 0.316 \quad \text{м}$$

Принимаем [16]:

Длина 240 мм

Толщина стенки 12 мм

$$D_y = 350 \text{ мм}$$

Диаметр штуцера для отвода газовой смеси:

$$d_4 := \sqrt{\frac{4 \cdot L}{\pi \cdot \rho_{\text{ж}} \cdot \omega_{\text{ж}}}} = 0.032 \quad \text{м}$$

Принимаем [16]:

Длина 150 мм

Толщина стенки 3 мм

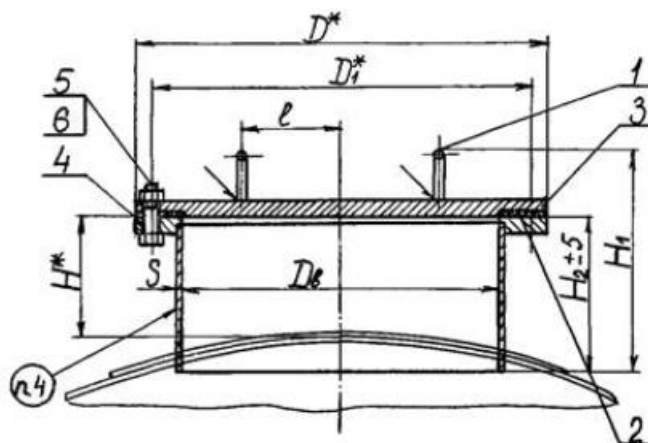
$$D_y = 50 \text{ мм}$$

Принимаем сталь 08X18H10T как исполнительный материал для изготовления штуцеров для отвода и подачи газовой и жидкой фазы, так как при использовании других марок сталей повысится вероятность увеличения скорости коррозии вследствие образования гальванических пар.

#### 4.6 Подбор люка-лаза

В качестве исполнительного типа люка-лаза выбираем люк с гладкой уплотнительной поверхностью без соединительного выступа на условное давление 0,1 МПа (1 кгс/см) исполнение 1;

Ввиду больших размеров аппарата необходимо установить 2 люк-лаза для облегчения установки насадок. Материал изготовления люк-лаза - сталь 08X18H10T. Конструкция люков исполнения 1 представлены на рисунке 7.



1. Ручка. 2. Прокладка. 3. Крышка исполн. 1 по ОСТ 26-2008. 4. Фланец. 5. Болт по ОСТ 26-2037. 6. Гайка по ОСТ 26-2038.

Рисунок 7 - Люк-лаз исполнение 1

Исполнительные размеры подобранного люка-лаза представлены в таблице 3.

Таблица 3 - размеры люка-лаза

В миллиметрах

Диаметр внутренний люка $D_b$	$D^*$	$D_1^*$	$H^*$	$H_1$	$H_2$	$l$
400	510	470	200	347	264	160
500	610	570		367	284	215

Конструкция фланца люка исполнения 1 на условное давление 0,1 МПа (1 кгс/см<sup>2</sup>) должны соответствовать указанным на рисунке 8.



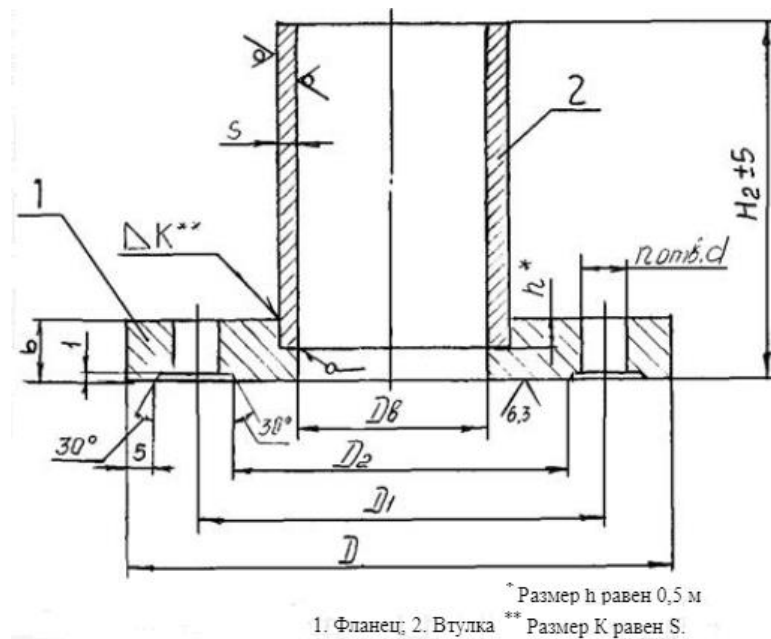


Рисунок 8 - Конструкция фланца люка-лаза

Исполнительные размеры фланца для соединения люка-лаза с цилиндрической обечайкой представлены в таблице 4.

Таблица 4 - размеры фланца люка-лаза

$D_8$	$D$	$D_1$	$D_2$	$H_2$	$d$	$n$	$b$	$S$
400	510	470	446	264	18	20	22	4
500	610	570	546	284		24		
600	710	670	646	324	28	25		
700	810	770	746	364	32			

Расчет на прочность плоской крышки люка-лаза:

**Исходные данные:**

Расчетный диаметр,  $D_p = 500$  мм

Коэффициент, зависящий от способа закрепления крышки  $K = 0.4$

Коэффициент ослабления, при отсутствии отверстий в крышке  $K_0 = 1$

Расчетная толщина крышки [18]:

$$s_{pk} = \max \left( \left( K \cdot K_0 \cdot D_p \cdot \sqrt{\frac{P_p}{\varphi \cdot \sigma_D}} \right), \left( K \cdot K_0 \cdot D_p \cdot \sqrt{\frac{P_{II}}{\varphi \cdot \sigma_{II}}} \right) \right) = 6.228 \text{ мм} \quad (59)$$

Исполнительную толщину стенки крышки определим по формуле [18]:

$$S_{ик} = s_{pk} + c = 10.728 \text{ мм}$$

Принимаем исполнительную толщину:  $S_{ик} = 14 \text{ мм}$

Проверка условий применимости формул для расчета плоских крышек:

$$\text{Проверка} := \begin{cases} \text{"Условие прочности стенки выполняется"} & \text{if } \frac{14 - c}{D_p} \leq 0.11 \\ \text{"Условие прочности НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Проверка = "Условие прочности стенки выполняется"

Допускаемое внутреннее давление в условиях проведения технологического процесса:

$$P_{др} := \left( \frac{S_{ик} - c}{K \cdot K_0 \cdot D_p} \right)^2 \cdot \varphi \cdot \sigma_d = 0.372 \text{ МПа} \quad , \quad (60)$$

Допускаемое внутреннее давление при проведении гидроиспытаний:

$$P_{ди} := \left( \frac{S_{ик} - c}{K \cdot K_0 \cdot D_p} \right)^2 \cdot \varphi \cdot \sigma_{и} = 0.517 \text{ МПа} \quad , \quad (61)$$

Проверка условия прочности крышки от действия внутреннего давления при рабочих условиях и условиях гидроиспытаний:

$$\text{Проверка} := \begin{cases} \text{"Условие прочности стенки крышки выполняется"} & \text{if } \begin{cases} P_{др} > P_p \\ P_{др} > P_{и} \end{cases} \\ \text{"Условие прочности НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Проверка = "Условие прочности стенки крышки выполняется"

#### 4.7 Расчет фланцев

По ГОСТ 12820-80 [19] выбираем исполнительный тип фланца - плоский приварной фланец.

По ГОСТ 52857.4-2007 [20] выбираем тип уплотнительной поверхности - плоская уплотнительная поверхность, применяемая при внутреннем давлении до 0.5 МПа.

Во избежание увеличения скорости коррозионных процессов выбираем исполнительный материал фланцев сталь 08X18H10T.

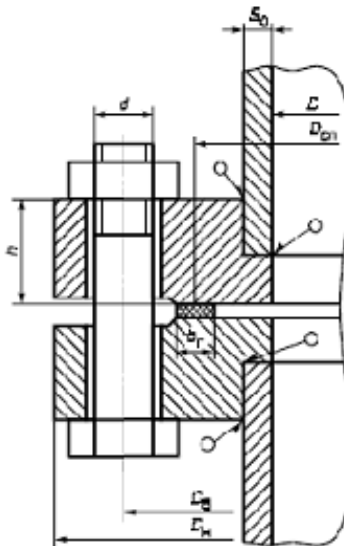


Рисунок 9 - Плоский фланец с гладкой уплотнительной поверхностью

**Исходные данные:**

Рабочая температура:  $t_p = 40^\circ \text{C}$

Материал для болтов: Сталь 35Х

Допускаемое напряжение для стали 35Х при рабочей температуре:  $\sigma_6 = 230 \cdot 10^6 \text{ Па}$

Материал прокладки: Паронит

Ширина прокладки [21]:  $b = 0.025 \text{ м}$

Толщина прокладки [21]:  $h_{\text{п}} = 0.002 \text{ м}$

Диаметр болта рекомендуемый [23]:  $u = 0.002 \text{ м}$

Расчетный диаметр:  $D = 1.6 \text{ м}$

Расчетная толщина стенки:  $s_1 = 0.006 \text{ м}$

Прибавка к расчетной толщине:  $c = 0.0045 \text{ м}$

Толщина втулки фланцев, согласно [22]:

$$s_0 = S_1 + 0.005 = 0.011 \text{ м}$$

Высота втулки:

$$h_{\text{в}} := 0.5 \cdot \sqrt{D \cdot (s_0 - c)} = 0.051 \quad \text{м}$$

Параметр длины обечайки:

$$l_0 := \sqrt{D \cdot s_0} = 0.133 \quad \text{м}$$

Расчет фланцевого соединения:

Диаметр болтовой окружности фланцев:

$$D_6 := D + 2 \cdot (s_1 + d_6 + u) = 1.656 \quad \text{м} \quad , \quad (62)$$

Наружный диаметр фланцев:

Конструктивная добавка, необходимая для выверенного расположения гаек по диаметру фланца [23]:  $a = 0.04$  м

$$D_n = D_6 + a = 1.656 + 0.04 = 1.696 \quad \text{м}$$

Нормативный параметр  $e$  по [23]:  $e = 0.03$  м

Наружный диаметр прокладки:

$$D_{np} = D_6 - e = 1.656 - 0.03 = 1.626 \quad \text{м}$$

Средний диаметр прокладки:

$$D_{cp} = D_{np} - b = 1.626 - 0.025 = 1.601 \quad \text{м}$$

Отношение наружного диаметра тарелки фланца к внутреннему диаметру:

$$K = D_{np}/D = 1.626/1.6 = 1.016 \quad \text{м}$$

Шаг расположения болтов:

$$t_{ш} = 4d_6 = 4 \cdot 0.02 = 0.08 \quad \text{м}$$

Необходимое количество болтов для обеспечения герметичности фланцевого соединения:

$$n_6 := \pi \cdot \frac{D_6}{t_{ш}} = 65.031 \quad \text{шт} \quad , \quad (63)$$

Принимаем количество болтов равное 66.

Высота фланца:

$\lambda_\phi = 0.44$  - для плоских фланцев при условном давлений

$$\lambda_\phi \cdot \sqrt{D \cdot s_1} = 0.043 \quad \text{м} \quad , \quad (64)$$

Принятая высота фланца  $h_\phi = 0.12$  м

$$\text{Усл1} := \begin{cases} \text{"Условия выполняются"} & \text{if } h_{\phi} \geq \lambda_{\phi} \cdot \sqrt{D \cdot s_1} \\ \text{"Условия не выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Усл1 = "Условия выполняются"

Расстояние между опорными поверхностями гаек определим по формуле:

$$l_{60} = (2h_{\phi} + h_{п}) = (0.24 + 0.002) = 0.242 \text{ м}, \quad (65)$$

Рассчитаем длину болта по формуле:

$$l_6 = l_{60} + 0.28d_6 = 0.242 + 0.28 \cdot 0.02 = 0.248 \text{ м}, \quad (66)$$

Нагрузка, действующая на фланец:

$$F_{д} := P_p \cdot \pi \cdot \frac{D_{сп}^2}{4} = 0.322 \text{ Н}, \quad (67)$$

Эффективную ширину прокладки принимаем равной:  $b_0 = b = 0.025 \text{ м}$

Коэффициент, зависящий от материала и конструкции:  $k_{пр} = 2.5$

Расчетная реакция прокладки рассчитывается по формуле:

$$R_{п} := \pi \cdot D_{сп} \cdot b_0 \cdot k_{пр} \cdot P_p = 0.05 \text{ Н}, \quad (68)$$

Усилие, возникающее от температурных деформаций

Для стали 08X18H10T температурный коэффициент линейного равен:

$$\alpha_1 = 16.1 \cdot 10^{-6} \text{ 1/К}$$

Для стали 35X:

$$\alpha_2 = 11.3 \cdot 10^{-6} \text{ 1/К}$$

$$\alpha_{\phi 1} := 11.6 \cdot 10^{-6}$$

$$\alpha_{\phi 2} := 11.6 \cdot 10^{-6} \quad \frac{1}{\text{К}}$$

$$\alpha_{\phi} := 11.6 \cdot 10^{-6}$$

Расчетная температура неизолированных фланцев:

$$t_{\phi} = 0.96t_p = 38.4 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Расчетная температура болтов:

$$t_6 = 0.95t_p = 38 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$E_6 = 1.9 \cdot 10^{11} \text{ Па}$  - Для болтов из стали 35X

Расчетная площадь поперечного сечения болта:

$$f_6 = 2.25 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$$

Линейная податливость болтов:

$$y_6 := \frac{l_6}{f_6 \cdot n_6 \cdot E_6} = 8.775 \times 10^{-11} \quad , \quad (69)$$

Линейная податливость прокладки:

$E_{\pi} = 2000 \cdot 10^6$  Па – модуль продольной упругости;

$$y_{\pi} := \frac{h_{\pi}}{E_{\pi} \cdot \pi \cdot D_{\text{сп}} \cdot b} = 7.953 \times 10^{-12} \quad , \quad (70)$$

$$\lambda_{\phi} := \frac{h_{\phi}}{\sqrt{D \cdot s_1}} = 1.225 \quad , \quad (71)$$

$$\psi_2 := \frac{(D_H + D)}{(D_H - D)} = 34.333 \quad , \quad (72)$$

$$\psi_1 := 1.28 \cdot 0.43 \cdot \ln\left(\frac{D_H}{D}\right) = 0.032 \quad , \quad (73)$$

$$\nu := \frac{1}{1 + 0.9 \cdot \lambda_{\phi} \cdot \left(1 + \psi_1 \cdot \frac{h_{\phi}^2}{s_1^2}\right)} = 0.154 \quad , \quad (74)$$

Где  $y_{\pi}$  и  $\nu$  – параметры, не имеющие размерности

Для материала фланца 08X18H10T модуль продольной упругости равен:

$$E = 1.96 \cdot 10^{11} \text{ Па}$$

Тогда угловая податливость фланца составит:

$$y_{\phi} := [1 - \nu \cdot (1 + 0.9 \cdot \lambda_{\phi})] \cdot \frac{\psi_2}{h_{\phi}^3 \cdot E} = 6.846 \times 10^{-8} \quad , \quad (75)$$

С учетом всех рассчитанных параметров определим усилия, возникающие в результате температурных деформаций материала:

$$F_t := \frac{y_6 \cdot n_6 \cdot f_6 \cdot E_6 \cdot (\alpha_1 \cdot t_{\phi} - \alpha_2 \cdot t_6)}{y_{\pi} + y_6 + 0.5 \cdot y_{\phi} \cdot (D_6 - D_{\text{сп}})^2} \quad , \quad (76)$$

$$F_t := 2.347 \times 10^5 \quad \text{Н}$$

Коэффициент жесткости фланцевого соединения:

$$k_{ж} := \frac{y_6 + 0.5 \cdot y_{\phi} \cdot (D_6 - D - s_1) \cdot (D_6 - D_{сп})}{y_{п} + y_6 + 0.5 \cdot y_{\phi} \cdot (D_6 - D_{сп})^2} \quad , (77)$$

$$k_{ж} = 0.913$$

Болтовая нагрузка в условиях монтажа при давлении прокладки  $P_{пр} = 40 \cdot 10^5$  Па составит:

$$F_{61} := \max(k_{ж} \cdot F_d + R_{п}, 0.5 \cdot \pi \cdot D_{сп} \cdot b_0 \cdot P_{пр}) = 2.515 \times 10^5 \quad \text{Н} \quad , (78)$$

В рабочих условиях болтовая нагрузка составит:

$$F_{62} := F_{61} + (1 - k_{ж}) \cdot F_d + Ft = 4.862 \times 10^5 \quad \text{Н} \quad , (79)$$

Рассчитаем приведенный изгибающий момент исходя из допускаемых напряжений для стали 08X18H10T при 20 °С и в рабочих условиях:

Допускаемое напряжения материала фланца:

$$\sigma_{дф20} := 168 \cdot 10^6 \quad \text{Па}$$

$$\sigma_{дф} := 165 \cdot 10^6 \quad \text{Па}$$

Величина изгибающего момента составит:

$$M_0 := \max \left[ 0.5 \cdot (D_6 - D_{сп}) \cdot F_{61}, 0.5 \cdot (D_6 - D_{сп}) \cdot F_{62} + (D_{сп} - D - s_1) \cdot F_d \cdot \frac{\sigma_{дф20}}{\sigma_{дф}} \right] \quad , (80)$$

$$M_0 = 1.337 \times 10^4 \quad \text{Н·м}$$

Условие применимости расчета:

$$\text{Усл2} := \begin{cases} \text{"Условия выполняются"} & \text{if } \begin{cases} \frac{D_H}{D} \leq 5 \\ \frac{2 \cdot h_{\phi}}{D_H - D} \geq 0.25 \end{cases} \\ \text{"Условия не выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{Усл2} = \text{"Условия выполняются"}$$

$\sigma_{д620} = 230 \cdot 10^6$ ,  $\sigma_{д6} = 230 \cdot 10^6$  Па - Допускаемое напряжения материала болтов.

Проверка прочности:

Для болтов из стали 35Х условие прочности:

$$\text{Усл3} := \begin{cases} \text{"Условия выполняются"} & \text{if } \begin{cases} \frac{F_{61}}{n_6 \cdot f_6} < \sigma_{д620} \\ \frac{F_{62}}{(n_6 \cdot f_6)} < \sigma_{д6} \end{cases} \\ \text{"Условия не выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Усл3 = "Условия выполняются"

Условие прочности прокладки:

$$F_{6\max} := \max(F_{61}, F_{62}) = 4.862 \times 10^7 \quad \text{Н}$$

$$\text{Усл4} := \begin{cases} \text{"Условия выполняются"} & \text{if } \frac{F_{6\max}}{\pi \cdot b \cdot D_{сп}} < P_{пр} \\ \text{"Условия не выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Усл4 = "Условия выполняются"

Для расчета угла поворота плоского фланца рассчитаем окружное напряжение в кольце фланца по формуле:

$$\sigma_k := M_0 \cdot [1 - \nu \cdot (1 + 0.9 \cdot \lambda \phi)] \cdot \frac{\psi^2}{D \cdot h_\phi^2} = 1.346 \times 10^7 \quad \text{Н} \quad , \quad (81)$$

Величина угла поворота фланца составит:

$$\theta := \frac{\sigma_k}{E} \cdot \left( \frac{D}{h_\phi} \right) = 9.154 \times 10^{-4} \quad \text{рад} \quad , \quad (82)$$

С учетом допускаемого угла поворота плоских фланцев  $\theta_d = 0.013$  рад условие герметичности фланцевого соединения:

$$\text{Усл5} := \begin{cases} \text{"Условия выполняются"} & \text{if } \theta < \theta_d \\ \text{"Условия не выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Усл5 = "Условия выполняются"

Расчет фланца на статическую прочность:

Коэффициент, учитывающий изгиб тарелки фланца между болтами:

$$C_\phi := \max \left( 1, \sqrt{\frac{\frac{\pi \cdot D_6}{n_6}}{2 \cdot d_6 + \frac{h_\phi \cdot 6}{k_{пр} + 0.5}}} \right) = 1$$



$$Q_{FM} := F \cdot H$$

$$Q_d := 0.785 \cdot P_p \cdot D_{сп}^2 = 0.322 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (83)$$

$$P_{M6} := \max(F_{61}, F_{62}) = 4.862 \times 10^7 \text{ Н}$$

$$P_{p6} := P_{M6} + [1 - (k_{ж})] \cdot (Q_d + F) + Ft = 7.209 \times 10^5 \text{ Н} \quad (84)$$

Расчетный изгибающий момент, действующий на фланец при затяжке:

$$M_M := C_{\phi} \cdot P_{M6} \cdot b = 1.215 \times 10^4 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (85)$$

Расчетный изгибающий момент, оказывающий воздействие на фланец в процессе работы абсорбционной установки:

$$M_p := C_{\phi} \cdot \max[P_p \cdot b + (Q_d + Q_{FM}) \cdot e, e \cdot (Q_d + Q_{FM})] = 0.879 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (86)$$

Расчетные напряжения во фланце при затяжке:

По приложению [22] Рисунок К.4 определим коэффициент увеличения изгибных напряжений для плоского фланца, для этого необходимо рассчитать следующие отношения:

$$h_b/l_0 = 0.384$$

$$s_1/s_0 = 0.545$$

Прибавка на коррозию:

$$c_k = 0.0045 \text{ м}$$

По полученным значениям определим величину коэффициента увеличения изгибных моментов с помощью диаграммы 1.39, [23, стр. 95], величина коэффициента составила  $\beta_1 = 2.5$ .

Толщина конической части втулки:

$$s_{1в} := \beta_1 \cdot s_0 = 0.028 \text{ м} \quad (87)$$

По рисунку К2 и К3 согласно [22]:

$$\beta_f = 0.84$$

$$\beta_v = 0.23$$

Приведенный диаметр приварного встык фланца с конической втулкой:

$$D_{\text{пр}} := \begin{cases} D & \text{if } D \geq 20 \cdot s_{1B} \\ (D + s_0) & \text{if } \begin{cases} f > 1 \\ D \leq 20 \cdot s_{1B} \end{cases} \\ (D + s_{1B}) & \text{if } \begin{cases} D \leq 20 \cdot s_{1B} \\ f = 1 \end{cases} \end{cases}$$

$$D_{\text{пр}} = 1.6 \quad \text{м}$$

$$\sigma_{1M} := \frac{M_M}{\lambda \cdot (s_1 - c_K)^2 \cdot D_{\text{пр}}} = 1.206 \times 10^9 \quad \text{Па} \quad , (88)$$

$$\sigma_{0M} := \sigma_{1M}$$

Напряжение в тарелке приварного встык фланца  $\sigma_{TM}$  в условиях затяжки:

- Величина радиального напряжения составила:

$$\sigma_{RM} := \frac{M_M \cdot (1.33 \cdot \beta_F \cdot h_\Phi + l_0)}{\lambda \cdot h_\Phi^2 \cdot l_0 \cdot D} = 3.788 \times 10^5 \quad \text{Па} \quad , (89)$$

- Величина окружного напряжения составила:

$$\beta_Y := \frac{1}{K - 1} \cdot \left[ 0.69 + 5.72 \cdot \frac{K^2 \cdot (0.43429 \cdot \ln(K))}{K^2 - 1} \right] = 120.135 \quad , (90)$$

$$\beta_Z := \frac{(K^2 + 1)}{(K^2 - 1)} = 62.042 \quad , (91)$$

$$\sigma_{TM} := \frac{\beta_Y \cdot M_M}{h_\Phi^2 \cdot D} - \beta_Z \cdot \sigma_{RM} = 3.987 \times 10^7 \quad \text{Па} \quad , (92)$$

Расчетные напряжения во фланце в рабочих условиях:

Меридиональное изгибающее напряжение для плоского фланца:

$$\sigma_{1P} := \frac{M_P}{\lambda \cdot (s_{1B} - c_K)^2 \cdot D_{\text{пр}}} = 370.949 \quad \text{Па} \quad , (93)$$

$$\sigma_{0P} := \sigma_{1P}$$

Окружное мембранное напряжение, возникающее вследствие давления во втулке фланца:

$$\sigma_{POMO} := \frac{Q_d + F}{2 \cdot (s_{1B} - c_K) \cdot (D - c_K)} = 4.386 \quad \text{Па} \quad , \quad (94)$$

- Величина радиального напряжения составила:

$$\sigma_{PR} := \frac{M_P \cdot (1.33 \cdot \beta_F \cdot h_\Phi + l_0)}{\lambda \cdot h_\Phi^2 \cdot l_0 \cdot D} = 27.398 \quad \text{Па} \quad , \quad (95)$$

- Величина окружного напряжения составила:

$$\sigma_{PT} := \frac{\beta_Y \cdot M_P}{h_\Phi^2 \cdot D} - \beta_Z \cdot \sigma_{PR} = 2.884 \times 10^3 \quad \text{Па} \quad , \quad (96)$$

Условия статической прочности фланцев:

- при затягивании болтов:

$$\max(|\sigma_{0M} + \sigma_{RM}|, |\sigma_{0M} + \sigma_{TM}|) = 1.246 \times 10^9 \quad \text{Па}$$

Для того чтобы обезопасить производственный процесс проведем расчет с учетом стесненности температурных деформаций:

$$K_T = 1.3; \quad \sigma_{НОМ} = 194.1 \cdot 10^6$$

$$\sigma_{НОМ} \cdot K_T = 2.53 \cdot 10^9$$

$$\text{Услов}_4 := \begin{cases} \text{"Условия прочности выполняются"} & \text{if } \max(|\sigma_{0M} + \sigma_{RM}|, |\sigma_{0M} + \sigma_{TM}|) \leq \sigma_{НОМ} \cdot K_T \\ \text{"Условия прочности не выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{Услов}_4 = \text{"Условия прочности выполняются"}$$

- в условиях проведения технологического процесса:

$$B := \max(|\sigma_{0P} - \sigma_{POMO} + \sigma_{PR}|, |\sigma_{0P} - \sigma_{POMO} + \sigma_{PR}|, |\sigma_{0P} + \sigma_{POMO}|) = 393.96 \quad \text{Па}$$

$$\text{Услов}_5 := \begin{cases} \text{"Условия прочности выполняются"} & \text{if } B \leq \sigma_{НОМ} \cdot K_T \\ \text{"Условия прочности не выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{Услов}_5 = \text{"Условия прочности выполняются"}$$

## 4.8 Расчет укреплений отверстий

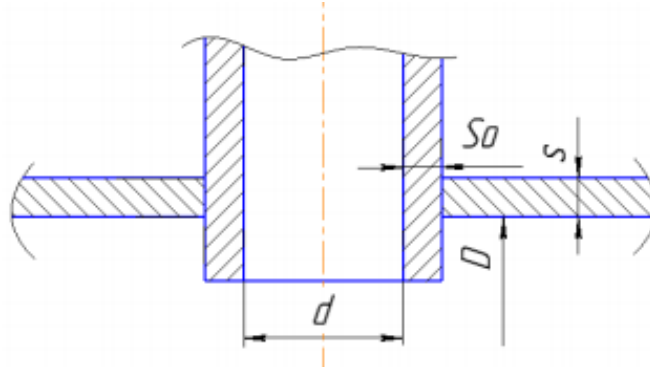


Рисунок 10 – Расчетная схема укрепления отверстия

### Штуцер для подачи жидкости

Диаметр укрепляемой цилиндрической обечайки:

$$D_p := D = 1.6 \times 10^3 \text{ мм}$$

Расчетный диаметр отверстия в стенке обечайки, располагающегося параллельно нормали к стенке:

$$d_p := d + 2c = 59 \text{ мм} \quad , \quad (97)$$

Проверка условий применения формул для расчета укрепления отверстий:

$$\text{проверка1} := \begin{cases} \text{"Отношение диаметров НЕ выполняется"} & \text{if } \frac{d_p - 2 \cdot c}{D} > 1 \\ \text{"Отношение диаметров выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{проверка1} = \text{"Отношение диаметров выполняется"}$$

$$\text{проверка2} := \begin{cases} \text{"Отношение толщины к диаметру НЕ выполняется"} & \text{if } \frac{s_1 - c}{D} > 0.1 \\ \text{"Отношение диаметров выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{проверка2} = \text{"Отношение диаметров выполняется"}$$

Расчетная толщина стенки штуцера по формуле:

$$s_{p.шт} := \frac{P_p \cdot (d + 2 \cdot c)}{2 \cdot \varphi \cdot \sigma - P_p} = 0.029 \text{ мм} \quad , \quad (98)$$

Исполнительная толщина стенки штуцера:

$$s_0 := \text{ceil}(s_{p,ш} + c) = 5 \quad \text{мм} \quad , \quad (99)$$

Расчетная длина зоны укрепления в обечайках и днищах при отсутствии торообразной вставки или вварного кольца.

Ширина зоны укрепления в переходах и днищах вычисляется по формуле:

$$l_p := \sqrt{D \cdot (s_1 - c)} = 48.99 \quad \text{мм} \quad , \quad (100)$$

Отношения допускаемых напряжений для внешней и для внутренней части штуцера:

$$\chi_1 := 1 \quad \chi_2 := 2$$

Расчетные длины штуцеров по формуле:

$$l_{1p} := 1.25 \sqrt{(d + 2 \cdot c) \cdot (s_0 - c)} = 6.789 \quad \text{мм} \quad , \quad (101)$$

$$l_{2p} := 0.5 \sqrt{(d + 2 \cdot c) \cdot (s_1 - c)} = 4.704 \quad \text{мм} \quad , \quad (102)$$

Принимаем:

$$l_1 := 8 \quad \text{мм}$$

$$l_2 := 5 \quad \text{мм}$$

При наличии штуцера и отсутствии избыточной толщины стенки обечайки расчётный диаметр отверстия рассчитывается по формуле:

$$d_{o,p} := 0.4 \sqrt{D \cdot (s_1 - c)} = 19.596 \quad \text{мм} \quad , \quad (103)$$

Наибольший допустимый диаметр отверстия, предназначенного для соединения штуцера с утолщенной стенкой аппарата, не требующего укрепления рассчитывается по формуле:

$$d_0 := \min \left[ 2 \cdot \left[ \frac{(s_1 - c)}{s_{p1}} - 0.8 \right] \cdot \sqrt{D \cdot (s_1 - c)}, (D + 2 \cdot c) \right] = 110.977 \quad \text{мм} \quad , \quad (104)$$

Проверка условий расчета укреплений отверстий:

$$\text{проверка4} := \begin{cases} \text{"Не требуется укрепление отверстий"} & \text{if } d_0 \geq d_p \\ \text{"требуется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{проверка4} = \text{"Не требуется укрепление отверстий"}$$

### Штуцер для подачи газа

Диаметр укрепляемой цилиндрической обечайки:

$$D_p := D = 1.6 \times 10^3 \quad \text{мм}$$

Расчетный диаметр отверстия в стенке обечайки, располагающегося параллельно нормали к стенке:

$$d_p := d + 2c = 709 \quad \text{мм}$$

Проверка условий применения формул для расчета укрепления отверстий:

$$\text{проверка1} := \begin{cases} \text{"Отношение диаметров НЕ выполняется"} & \text{if } \frac{d_p - 2 \cdot c}{D} > 1 \\ \text{"Отношение диаметров выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{проверка1} = \text{"Отношение диаметров выполняется"}$$

$$\text{проверка2} := \begin{cases} \text{"Отношение толщины к диаметру НЕ выполняется"} & \text{if } \frac{s_1 - c}{D} > 0.1 \\ \text{"Отношение диаметров выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{проверка2} = \text{"Отношение диаметров выполняется"}$$

Расчетная толщина стенки штуцера по формуле:

$$s_{p,шт} := \frac{P_p \cdot (d + 2 \cdot c)}{2 \cdot \varphi \cdot \sigma - P_p} = 0.344 \quad \text{мм}$$

Исполнительная толщина стенки штуцера:

$$s_0 := \text{ceil}(s_{p,шт} + c) = 5 \quad \text{мм} \quad , (99)$$

Расчетная длина зоны укрепления в обечайках и днищах при отсутствии торообразной вставки или вварного кольца.

Ширина зоны укрепления в переходах и днищах вычисляется по формуле:

$$l_p := \sqrt{D \cdot (s_1 - c)} = 48.99 \text{ мм} \quad , \quad (100)$$

Отношения допускаемых напряжений для внешней и для внутренней части штуцера:

$$\chi_1 := 1 \quad \chi_2 := 2$$

Расчетные длины штуцеров по формуле:

$$l_{1p} := 1.25 \sqrt{(d + 2 \cdot c) \cdot (s_0 - c)} = 23.535 \text{ мм}$$

$$l_{2p} := 0.5 \sqrt{(d + 2 \cdot c) \cdot (s_1 - c)} = 16.306 \text{ мм}$$

Принимаем:

$$l_1 := 25 \text{ мм}$$

$$l_2 := 18 \text{ мм}$$

При наличии штуцера и отсутствии избыточной толщины стенки обечайки расчётный диаметр отверстия рассчитывается по формуле:

$$d_{o,p} := 0.4 \sqrt{D \cdot (s_1 - c)} = 19.596 \text{ мм} \quad , \quad (103)$$

Наибольший допустимый диаметр отверстия, предназначенного для соединения штуцера с утолщенной стенкой аппарата, не требующего укрепления рассчитывается по формуле:

$$d_0 := \min \left[ 2 \cdot \left[ \frac{(s_1 - c)}{s_{p1}} - 0.8 \right] \cdot \sqrt{D \cdot (s_1 - c)}, (D + 2 \cdot c) \right] = 110.977 \text{ мм} \quad , \quad (104)$$

Проверка условий расчета укреплений отверстий:

$$\text{проверка4} := \begin{cases} \text{"Не требуется укрепление отверстий"} & \text{if } d_0 \geq d_p \\ \text{"требуется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{проверка4} = \text{"требуется"}$$

Примем исполнительную стенку штуцера равной:  $S_0 = 20 \text{ мм}$

Коэффициент снижения прочности стенки сосуда, ослабленной одиночным отверстием по формуле:

$$W := 1 + \frac{l_{1p} \cdot (s_0 - c) \cdot \chi_1 + l_{2p} \cdot (s_0 - c - c) \cdot \chi_2}{l_p \cdot (s_1 - c)} = 10.846 \quad , (105)$$

$$V := \min \left[ \frac{(s_1 - c)}{(s_1 - c)}, \frac{W}{1 + 0.5 \cdot \frac{d_p - d_{o.p}}{l_p} + \frac{\varphi \cdot K \cdot l_{1p} \cdot d + 2 \cdot c}{\varphi \cdot l_p \cdot D_p}} \right] = 1$$

Проверка условия прочности для одиночного отверстия

Находим допускаемое избыточное давление для рабочих условий и условий испытания соответственно по формуле:

$$P_{гор} := \frac{2 \cdot K \cdot (s_1 - c) \cdot \varphi \cdot \sigma \cdot V}{D_p + (s_1 - c) \cdot V} = 0.309 \quad \text{МПа} \quad , (106)$$

$$P_{гор.и} := \frac{2 \cdot K \cdot (s_1 - c) \cdot \varphi \cdot \sigma_{20} \cdot V}{D_p + (s_1 - c) \cdot V} = 0.315 \quad \text{МПа} \quad , (107)$$

Условие прочности для одиночного отверстия:

$$P_{ф.} := 1.25 \cdot P_p \cdot \frac{\sigma_{д20}}{\sigma} = 0.204 \quad \text{МПа}$$

При рабочих условиях:

$$\text{проверка5} := \begin{cases} \text{"Условие прочности при рабочих условиях выполняется"} & \text{if } P_p < P_{гор} \\ \text{"не выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{проверка5} = \text{"Условие прочности при рабочих условиях выполняется"}$$

При условиях испытаний:

$$\text{проверка6} := \begin{cases} \text{"Условие прочности при условиях испытаний выполняется"} & \text{if } P_{и} < P_{гор.и} \\ \text{"не выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{проверка6} = \text{"Условие прочности при условиях испытаний выполняется"}$$

Условие укрепления одиночных отверстий при наличии утолщенной стенки сосуда:

$$l_{1p} \cdot (s_{0.0} - s_{p.ш} - c) \cdot \chi_1 + l_{2p} \cdot (s_{0.0} - c - c) \cdot \chi_2 \geq 0.5 \cdot (d_p - d_{o.p}) \cdot s_p \quad , (108)$$

$$715.426 \geq 267.535$$

Условие укрепления отверстия выполняется.

**Штуцер для отвода газа**



Расчетный диаметр крышки в месте расположения штуцера рассчитывается по формуле:

$$D_R := 2 \cdot D \cdot \sqrt{1 - 3 \cdot \left(\frac{x}{D}\right)^2} \quad \text{мм} \quad , (109)$$

Так как штуцер расположен в центре крышки, то его расстояние до центральной оси составит  $x = 0$  см.

Тогда:

$$D_R := 2 \cdot 1600 \cdot \sqrt{1 - 3 \cdot \left(\frac{0}{1600}\right)^2} = 3.2 \times 10^3 \quad \text{мм}$$

Расчетная толщина эллиптической крышки в месте соединения со штуцером рассчитывается по формуле:

$$S_{1R} := \frac{P_p \cdot D_R}{4 \cdot \varphi \cdot \sigma - P_p} \quad \text{мм} \quad , (110)$$

$$S_{1R} := \frac{0.16 \cdot (3.2 \times 10^3)}{4 \cdot 1.165 - 0.16} = 0.776 \quad \text{мм}$$

$$d_0 := 2 \left[ \frac{(6 - 4.5)}{0.776} - 0.8 \right] \cdot \sqrt{1600 \cdot (6 - 0.45)} = 1.197 \times 10^3 \quad \text{мм} \quad , (111)$$

$$d_R := \frac{d + 2 \cdot c}{\sqrt{1 - \left(\frac{2x}{D_R}\right)^2}} \quad \text{мм} \quad , (112)$$

$$d_R := \frac{350 + 2 \cdot 4.5}{\sqrt{1 - \left(\frac{2 \times 0}{3.2 \times 10^3}\right)^2}} = 359 \quad \text{мм}$$

$d_0 > d_R$  - Условие укрепления выполняется.

### **Штуцер для отвода жидкости**

Расчетный диаметр днища в зоне расположения штуцера определяется по формуле:

$$D_R := 2 \cdot D \cdot \sqrt{1 - 3 \cdot \left(\frac{x}{D}\right)^2} \quad \text{мм}$$

Так как штуцер расположен в центре днища, то его расстояние до центральной оси составит  $x = 0$  см.

Тогда:

$$D_R := 2 \cdot 1600 \cdot \sqrt{1 - 3 \cdot \left(\frac{0}{1600}\right)^2} = 3.2 \times 10^3 \quad \text{мм}$$

Расчетная толщина эллиптического днища в месте соединения со штуцером рассчитывается по формуле:

$$S_{1R} := \frac{P_p \cdot D_R}{4 \cdot \varphi \cdot \sigma - P_p} \quad \text{мм}$$

$$S_{1R} := \frac{0.16 \cdot (3.2 \times 10^3)}{4 \cdot 1.165 - 0.16} = 0.776 \quad \text{мм}$$

$$d_0 := 2 \left[ \frac{(6 - 4.5)}{0.776} - 0.8 \right] \cdot \sqrt{1600 \cdot (6 - 0.45)} = 1.197 \times 10^3 \quad \text{мм}$$

$$d_R := \frac{50 + 2 \cdot 4.5}{\sqrt{1 - \left(\frac{2 \times 0}{3.2 \times 10^3}\right)^2}} = 59 \quad \text{мм}$$

$d_0 > d_R$  - Условие укрепления выполняется.

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА  
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И  
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
4Г7Б	Хохрякову Роману Евгеньевичу

<b>Школа</b>	<b>ИШНПТ</b>	<b>Отделение школы (НОЦ)</b>	
Уровень образования	Бакалавр	Направление/специальность	18.03.01 «Химическая технология».

**Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:**

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	<i>Стоимость материальных ресурсов определялась по средней стоимости по г. Томску. Тарифные ставки исполнителей в соответствии с окладами сотрудников «НИ ТПУ» Бюджет проекта – не более 354284,2 руб., в т.ч. затраты по оплате труда – не более 210580.7 руб.</i>
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	<i>Норма амортизационных отчислений на специальное оборудование. Значение показателя интегральной ресурсоэффективности – не менее 4.25 баллов из 5.</i>
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	<i>Отчисления во внебюджетные социальные фонда в размере 30 %</i>

**Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:**

1. <i>Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	<i>Проведение предпроектного анализа. Определение целевого рынка и проведение его сегментирования. Выполнение SWOT-анализа проекта</i>
2. <i>Планирование и формирование бюджета научных исследований</i>	<i>Формирование плана и графика разработки: - определение трудоемкости работ; -определение структуры работ; -разработка графика Гантта. Формирование бюджета затрат на научное исследование: - отчисления на социальные цели; - заработная плата; - материальные затраты; - накладные расходы; - амортизационные отчисления.</i>
3. <i>Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</i>	<i>Определение интегрального показателя ресурсоэффективности</i>

**Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):**

<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Оценка конкурентоспособности технических решений</li> <li>2. Матрица SWOT</li> <li>3. Альтернативы проведения НИ</li> <li>4. График проведения и бюджет НИ</li> <li>5. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИ</li> </ol>
---

<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	
---	--

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент ОСГН ШБИП ТПУ	Спицына Любовь Юрьевна	К.Э.Н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4Г7Б	Хохряков Роман Евгеньевич		

## **5. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ**

### **5.1 Предпроектный анализ. Анализ рынка. Основные потребители и конкуренты**

#### **5.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования**

Продуктом данной работы является насадочная абсорбционная колонна, данный аппарат относится к наиболее эффективным установкам для разделения газовых и паровых смесей. В данной научно-исследовательской работе она используется для извлечения сероводорода из газовой смеси на НПЗ.

Целевым рынком является АО ВНК "Ачинский нефтеперерабатывающий завод", Александровский нефтеперерабатывающий завод (АНПЗ), Томский нефтеперерабатывающий завод (Томский НПЗ), Газпромнефть-Омский НПЗ, Яйский нефтеперерабатывающий завод (Яйский НПЗ).

Основными конкурентами являются такие производители как ОАО Саратовское проектно – технологическое бюро, ОАО ВОЛГОГРАДНЕФТЕМАШ, ООО ГСИ Волгоградская фирма НЕФТЕЗАВОДМОНТАЖ, ПАО Ижорские заводы, ООО УРАЛАКТИВ, ООО МАШЗАВОД.

Для того, чтобы выявить приоритетные сегменты рынка необходимо составить карту сегментации, она позволит проанализировать конкурентноспособность и заполненность той или иной ниши на рынке.

Для коммерческой организации по производству насадочных абсорберов можно выделить несколько критериев сегментирования:

- географическое местоположение;
- тип организации, приобретающей товар;

- размер закупок;
- размер компании;
- направления использования купленных товаров.

Двумя основными критериями являются размер компании и ее географическое местоположение.

На данный момент в России существуют 8 федеральный округов, сами предприятия условно разделим на крупные, средние и мелкие.

		Размер компании		
		Крупные	Средние	Мелкие
Географическое положение	Центральный ФО			
	Северо-Западный ФО			
	Южный ФО			
	Северо-Кавказский ФО			
	Приволжский ФО			
	Уральский ФО			
	Сибирский ФО			
	Дальневосточный ФО			

ОАО Саратовское проектно – технологическое бюро – красный;

ОАО ВОЛГОГРАДНЕФТЕМАШ – синий;

ООО ГСИ Волгоградская фирма НЕФТЕЗАВОДМОНТАЖ – черный;

ПАО Ижорские заводы – оранжевый;

ООО УРАЛАКТИВ – зеленый;

ООО МАШЗАВОД – голубой.

На составленной карте сегментирования видно, что конкуренты производители в большинстве своем крупные предприятия, обладающие

большими мощностями. Целевой рынок в сибирском федеральном округе весьма обширен, однако производителей конкурентов очень мало, исходя из этого можно сделать вывод, что данный федеральный округ является наиболее перспективным в развитии производств химического оборудования.

Обустройство химических производств в таких округах как Дальневосточный и Северо-Западный является трудозатратной задачей из-за своего расположения, также большая часть целевого рынка находится на больших расстояниях от данных округов, исходя из этого можно сделать вывод, что развитие химической промышленности в данных областях нецелесообразно.

### 5.1.2 Анализ конкурентных технических решений

Для оценки ресурсоэффективности будет произведен анализ технических решений по технико-экономическим показателям, для наглядной иллюстрации и систематизации результатов анализа, будет составлена оценочная карта. Оценка будет происходить по 5-ти бальной шкале, где 5 – наиболее сильная, а 1 – наиболее слабая позиция. Вес показателей в сумме должны составлять 1.

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Насадочный абсорбер	Абсорбер Вентури	Барботажные, пенные и тарельчатые абсорберы	Насадочный абсорбер	Абсорбер Вентури	Барботажные, пенные и тарельчатые абсорберы
1	2	3	4	5	6	7	8
<b>Технические критерии эффективности</b>							
1. Энергоэкономичность	0,01	5	5	5	0,05	0,05	0,05
2. Надежность	0,1	5	4	5	0,5	0,4	0,5
3. Предоставляемые функции защит и автоматики	0,1	4	4	5	0,4	0,4	0,5
4. Ремонтпригодность	0,08	5	4	4,5	0,4	0,32	0,36
5. Удобство в эксплуатации	0,1	5	5	5	0,5	0,5	0,5
6. Безопасность	0,1	5	5	5	0,5	0,5	0,5
7. Дешевизна комплектующих	0,05	5	4	5	0,25	0,2	0,25
8. Чистота продукта на выходе	0,05	5	4	5	0,25	0,2	0,25
9. Простота эксплуатации	0,03	4	4	4	0,12	0,12	0,12
10. Помехоустойчивость	0,07	5	5	5	0,35	0,35	0,35

11. Уровень шума	0,01	5	5	5	0,05	0,05	0,05
<b>Экономические критерии оценки эффективности</b>							
12. Стоимость	0,10	4	4	3	0,4	0,4	0,3
13. Наличие сертификации	0,05	5	5	5	0,25	0,25	0,25
14. Срок эксплуатации	0,10	5	4	5	0,5	0,4	0,5
15. Послепродажное обслуживание	0,05	5	4	4	0,25	0,2	0,2
Итого	1,00	72	66	70,5	4,77	4,34	4,68

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum B_i \cdot B_i$$

Где:

K – конкурентоспособность разработки или аналога;

$B_i$  – вес показателя (в долях единицы);

$B_i$  – балл i-го показателя.

Подводя итоги анализа конкурентоспособности по оценочной карте, можно сделать вывод о том, что абсорберы насадочного типа имеют более высокий показатель конкурентоспособности по сравнению с другими техническими решениями.

## 5.2 SWOT – Анализ

SWOT - анализ необходим для изучения внешней и внутренней среды проекта.

В ходе анализа выявляются сильные и слабые стороны, а также возможности и угрозы реализации проекта.

Сильные стороны представляют собой ресурсы и возможности, которые имеются у руководства проекта, они способны эффективно использоваться для достижения поставленных целей.

Слабыми сторонами проекта являются различные факторы, которые препятствуют достижению поставленных в нем целей. Эти факторы могут являться следствием недостаточных возможностей или ресурсов, привлекаемых для реализации проекта.



Возможности представляют собой возникающие в окружающей среде ситуации, исход которых положительно сказывается на проекте. В противовес возможностям определяются угрозы, они представляют нежелательные ситуацию в окружающей среде проекта, способствующие его торможению или препятствующие развитию.

Анализ сочетания внутренних и внешних факторов способствует выявлению возможностей и угроз проекта. Полученные данные необходимо использовать для повышения эффективности ресурсной базы научно-исследовательского проекта. В таблице 5 представлены основные факторы, которые целесообразно учитывать в SWOT-анализе данного проекта:

Таблица 5 – Матрица SWOT-анализа

	<b>Сильные стороны:</b> С1 – Стоимость ниже чем у зарубежных аналогов; С2 – Длительный срок эксплуатации; С3 – Высокая эффективность работы; С4 – Возможность работы с токсичными и взрывоопасными веществами; С5 – Высокие экологические показатели.	<b>Слабые стороны:</b> Сл1 – Необходимость квалифицированных специалистов для обслуживания оборудования; Сл2 – Трудоемкое обслуживание аппарата; Сл3 – Высокая конкуренция производителей данной установки; Сл4 – Большие затраты на металлические изделия.
<b>Возможности:</b> В1 – Государственная поддержка проектов по модернизации объектов промышленности; В2 – Использование оборудования отечественного производителя; В3 – Возможность использования установки в условиях сурового климата; В4 – Возможность увеличения поверхности массообмена; В5 – Обучение молодого персонала.		
<b>Угрозы:</b> У1 – Рост стоимости импортных комплектующих; У2 – Появление новых технических решений у конкурентов; У3 – Угроза возникновения ЧС из за нарушения герметичности или вследствие стихийных бедствий ; У4 – Технологическое устаревание технологии аминовой очистки.		

После того как были сформулированы 4 области SWOT необходимо выявить соответствие сильных и слабых сторон проекта внешним условиям окружающей среды.

Для этого построим интерактивную матрицу проекта. Она наглядно демонстрирует комбинации взаимосвязей областей матрицы SWOT.

Таблица 6 – Интерактивная матрица проекта

Сильные стороны проекта						
Возможности проекта		C1	C2	C3	C4	C5
	B1	+	+	+	+	+
	B2	+	+	+	+	0
	B3	+	+	-	+	+
	B4	+	+	+	+	+
	B5	+	+	+	+	+

В рамках заключительного этапа необходимо составить итоговую матрицу SWOT – анализа.

Таблица 7 – Итоговый SWOT - анализ

	<p><b>Сильные стороны:</b>            C1 – Стоимость ниже чем у зарубежных аналогов;            C2 – Длительный срок эксплуатации;            C3 – Высокая эффективность работы;            C4 – Возможность работы с токсичными и взрывоопасными веществами;            C5 – Высокие экологические показатели.</p>	<p><b>Слабые стороны:</b>            Сл1 – Необходимость квалифицированных специалистов для обслуживания оборудования;            Сл2 – Трудоемкое обслуживание аппарата;            Сл3 – Высокая конкуренция производителей данной установки;            Сл4 – Большие затраты на металлические изделия.</p>
<p><b>Возможности:</b>            B1 – Государственная поддержка проектов по модернизации объектов промышленности;            B2 – Использование оборудования отечественного производителя;            B3 – Возможность использования установки в условиях сурового климата;            B4 – Возможность увеличения поверхности массообмена;            B5 – Обучение молодого персонала.</p>	<p><b>Сильные стороны и возможности:</b>            1) Привлечение государственных и частных средств на модернизацию объекта;            2) Использование высокотехнологичных и эффективных конструкций и устройств;            3) Установка способна работать в условиях низкой температуры а также в условиях повышенного ветрового режима;</p>	<p><b>Слабые стороны и возможности:</b>            1) Унифицирование и стандартизация проекта способствует упрощению процесса проектирования, повысится взаимозаменяемость комплектующих;            2) Использование альтернативных материалов;            3) Применение оборудования и материалов отечественного производителя позволят снизить</p>

	4) Использование высокотехнологичных насадок и рациональная их компоновка.	стоимость на монтаж и обслуживание установки.
<b>Угрозы:</b> У1 – Рост стоимости импортных комплектующих; У2 – Появление новых технических решений у конкурентов; У3 – Угроза возникновения ЧС из за нарушения герметичности или вследствие стихийных бедствий ; У4 – Технологическое устаревание технологии аминовой очистки.	<b>Сильные стороны и угрозы:</b> 1) Повышение цен на импортные комплектующие и оборудование способствуют развитию отечественных производств; 2) Появление новых технических решений у конкурентов способствует развитию конкуренции, это способствует снижению цены, повышению качества и увеличению эффективности оборудования и изделий; 3) Точный подбор фланцев и прокладок из качественных материалов минимизирует риск разгерметизации.	<b>Слабые стороны и угрозы:</b> 1) Использование высокотехнологичных комплектующих может существенно повысить себестоимость проекта; 2) Повышение цен на комплектующие вследствие нестабильности курса валют; 3) Нарушение сроков реализации проекта вследствие задержки поставок и сборки устройств и комплектующих.

Таким образом в результате SWOT-анализа были выявлены зависимости сильных и слабых сторон проекта.

Исходя из данного анализа можно сделать вывод, что у проекта достаточно много сильных сторон, в нем хорошо развита трудовая, технологическая и экологическая политика, а потенциально сильные стороны проекта преобладают над слабыми сторонами.

Основным недостатком можно выделить повышение себестоимости проекта вследствие подорожания комплектующих и использования иностранного оборудования. Сильной стороной проекта является возможность полного перехода на отечественные мощности и повышение эффективности установки за счет использования высокотехнологичных насадок и использования высококвалифицированных сотрудников.

### **5.3 Определение возможных альтернатив проведения научного исследования**

В предыдущих пунктах были использованы методы, позволяющие выявить и предложить альтернативы проведения исследования и доработки результатов, однако основополагающей целью этих методов было совершенствование результатов исследования на финальных стадиях.

В данном разделе будет произведен морфологический подход целью которого является выявление всех теоретически возможных вариантов, вытекающих из закономерностей строения объекта исследования. Путем синтеза различных вариантов будет достигнут практический интерес, представляющий собой большое количество вариантов различных решений и выявление наилучшего из них.

Реализация метода проходит в 4 этапа:

1. формулировка проблемы исследования;
2. раскрытие морфологических характеристик объекта исследования;
3. раскрытие возможных вариантов по каждой характеристике;
4. выбор наиболее практичных решений.

Целью данного научного исследования является теоретический расчет насадочной абсорбционной колонны с обоснованием выбора тех или иных технических решений от которых зависит эффективность технологического процесса и себестоимость реализации проекта в целом.

Для абсорбционной колонны можно выделить несколько морфологических характеристик таких как:

- насадки;
- абсорбент;
- направление движение газа и жидкости (прямоток, противоток);
- укладка насадок (сплошным или несколькими слоями).

Для раскрытия возможных вариантов по каждой характеристике занесем все возможные варианты в морфологическую матрицу.

	1	2	3
А. Тип насадки	Кольца Палля	Кольца Рашига	Хорды, полухорды
Б. Выбор абсорбента	Моноэтаноламин (МЭА)	Диэтаноламин (ДЭА)	Триэтаноламин (ТЭА)
В. Направление	Прямоток	...	Противоток

Движения жидкости и газа			
Г. Укладка насадок	Сплошной слой	...	Несколько слоев

Наиболее желательное и обоснованное решение представлено комбинацией А2Б1В3Г1.

Из кольцевых насадок наилучший контакт создают кольца Палля, но они сложны в изготовлении и дороже колец Рашига. Хордовые деревянные насадки имеют минимальную удельную поверхность и стоимость. Исходя из этого выбираем тип насадок кольца Рашига.

В качестве абсорбента выбираем моноэтаноламин так как он обладает максимальной поглощающей способностью в отношении  $H_2S$ , также данное вещество кроме сероводорода способно поглощать углекислый газ.

Движение газа и жидкости в насадочных абсорберах будет осуществляется противотоком так как при противотоке можно достичь более полного извлечения компонента из газовой смеси, чем при прямоточной схеме.

Выбор укладки насадок одним сплошным слоем обосновывается тем, что при укладке насадок несколькими слоями необходимо устанавливать отдельные поддерживающие решетки и устройства для перераспределения жидкости, данное решение увеличит затраты на реализацию и усложнит процесс монтажа и обслуживания колонны.

## **5.4 Планирование работ**

### **5.4.1 Структура работ в рамках научного исследования**

Целью планирование разработки проекта является повышение эффективности организации проекта путем составления перечня этапов и работ в рамках научного исследования.

Планирование комплекса предполагаемых работ проводится в следующем порядке:

- определение структуры работ;
- определение участников каждой работы;
- установление продолжительности работ;
- построение графика проведения научных исследований.

В состав рабочей группы входят:

- Инженер (Хохряков Роман Евгеньевич);
- Руководитель диплома (Ан Владимир Вилорьевич).

Перечень этапов, работ и распределение исполнителей в таблице 8.

Таблица 8 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№	Содержание работ	Исполнитель
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Ан В.В.
Выбор направления исследований	2	Обсуждение основных положений исследования	Ан В.В. Хохряков Р.Е.
	3	Подбор и изучение материалов по тематике исследования	Хохряков Р.Е.
	4	Календарное планирование предполагаемых работ	Ан В.В.
Проведение теоретических исследований и инженерных расчетов	5	Проведение теоретических расчетов и обоснований	Хохряков Р.Е. Ан В.В.
	6	Проверка расчетов	
Обобщение результатов и оценка	7	Оценка эффективности полученных результатов	Хохряков Р.Е.
Координирование и контроль проекта	8	Обсуждение полученных результатов с руководителем, консультирование по вопросам оформления	Хохряков Р.Е. Ан В.В.
Разработка технической документации и проектирование	9	Оценка эффективности использования спроектированного оборудования на производстве	Хохряков Р.Е. Ан В.В.
Оформление комплекта документации ВКР	10	Оформление пояснительной записки ВКР в соответствии с СТО ТПУ	Хохряков Р.Е.

#### 5.4.2 Определение трудоемкости выполнения работ

Трудовые затраты зачастую являются основной частью затрат на реализацию проекта.

Трудоемкость зависит от большого количества факторов, которые не всегда можно учесть в расчетах. Определения усредненного значения трудоемкости производится по формуле:

$$t_{ожі} = \frac{3t_{\min i} + 2t_{\max i}}{5} = \frac{3 \cdot 6 + 2 \cdot 10}{5} = 7,6 \text{ чел-дни}$$

Где:

$t_{ожі}$  – ожидаемая трудоемкость выполнения  $i$ -ой работы чел.-дн.;

$t_{\min i}$  – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной  $i$ -ой работы, чел.-дн.;

$t_{\max i}$  – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной  $i$ -ой работы, чел.-дн.

Исходя из рассчитанной ожидаемой трудоемкости работ, с учетом параллельности выполнения работ несколькими работниками, можем определить длительность каждой работы в рабочих днях  $T_p$ :

$$T_{pi} = \frac{t_{ожі}}{Ч_i} = \frac{7,6}{1} = 7,6 \text{ дней}$$

Где:

$T_{pi}$  – продолжительность одной работы, раб. дн.;

$t_{ожі}$  – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн.;

$Ч_i$  – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

### 5.4.3 График проведения работ

Для построения графика работ удобнее всего воспользоваться диаграммой Ганта, она представляет собой наиболее удобный и наглядный ленточный график на котором отмечены временные отрезки отведенные на выполнение той или иной работы.

Для удобства построения графика, необходимо перевести временные отрезки из рабочих дней в календарные, для этого воспользуемся формулой:

$$T_{ki} = T_{pi} * k_{\text{кал}}$$

Где:

$T_{ki}$  – продолжительность выполнения каждой работы в календарных днях;

$T_{pi}$  – продолжительность выполнения каждой работы в рабочих днях;

$k_{\text{кал}}$  – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}} = \frac{365}{365 - 52 - 14} = 1,22$$

Где:

$T_{\text{кал}}$  – количество календарных дней в году;

$T_{\text{вых}}$  – количество выходных дней в году (с учетом шестидневки);

$T_{\text{пр}}$  – количество праздничных дней в году.

Тогда число календарных дней на выполнение работ составит:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}} = 7,6 \cdot 1,22 = 9 \text{ дней}$$

Таблица 9 – Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоёмкость работ						Длительность работ в рабочих днях $T_{pi}$		Длительность работ в календарных днях $T_{ki}$	
	$t_{\text{min}}$ , человеко-дни		$t_{\text{max}}$ , человеко-дни		$t_{\text{ожг}}$ , человеко-дни					
	Ан В.В.	Хохряков Р.Е.	Ан В.В.	Хохряков Р.Е.	Ан В.В.	Хохряков Р.Е.	Ан В.В.	Хохряков Р.Е.	Ан В.В.	Хохряков Р.Е.
Составление и утверждение технического задания	1		3		1,8		1,8		2	
Обсуждение основных положений исследования	2	3	3	4	2,4	3,4	1,2	1,7	1	2
Подбор и изучение материалов по		6		10		7,6		7,6		9



тематике исследования										
Календарное планирование предполагаемых работ	1		2		1,4		1,4		2	
Проведение теоретических расчетов и обоснований		16		21		18		18		22
Проверка расчетов	4	6	6	8	4,8	6,8	4,8	6,8	6	8
Оценка эффективности полученных результатов		1		2		3		1		1
Обсуждение полученных результатов с руководителем, консультирование по вопросам оформления	4	4	6	6	4,8	4,8	4,8	4,8	6	6
Оценка эффективности использования спроектированного оборудования на производстве	2	4	3	6	2,4	4,8	1,2	4,8	1	6
Оформление пояснительной записки ВКР		6		8		6,8		6,8		8

На основании полученных данных из таблицы 5 построим график Ганта, представленный в таблице 10.

Таблица 10 – График Ганта

Вид работ	Исполнители	T <sub>кi</sub> кал.д н	Продолжительность выполнения работ																	
			Янв.	Фев.	Март	Апр.	Май	Июнь												
Составление технического задания	Руководитель	2	■																	
Обсуждение основных положений исследования	Инженер и Руководитель	2	■	■																
Подбор и изучение материалов по тематике исследования	Инженер	9		■	■	■														
Календарное планирование работ	Руководитель	2		■																
Проведение расчетов	Инженер	22			■	■	■	■												
Проверка расчетов	Инженер и Руководитель	8						■	■	■										
Оценка эффективности результатов	Инженер	1								■										
Обсуждение результатов и консультирование	Руководитель и Инженер	4								■	■									
Оценка эффективности использования спроектированного оборудования	Инженер и Руководитель	6								■	■	■								
Оформление пояснительной записки ВКР	Инженер	8										■	■	■	■					

■ - руководитель;  
 ■ - инженер;

#### 5.4.4 Бюджет научно-технического исследования

Во время планирования бюджета НТИ необходимо обеспечить полное и достоверное отражение всех типов расходов, которые связаны с его выполнением.

В процессе формирования бюджета НТИ используется следующая группировка затрат по статьям:

- материальные затраты НТИ;
- затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ;
- основная заработная плата руководителя и инженера;
- дополнительная заработная плата руководителя и инженера;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- затраты научные и производственные командировки;
- контрагентные расходы;
- накладные расходы.

#### 5.4.4.1 Расчет материальных затрат НТИ

Данный пункт включает стоимость всех материалов, используемых при разработке проекта. Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$Z_m = (1 + K_T) * \sum_{i=1}^m C_i * N_{расх\ i}$$

Где:

$m$  – количество видов материальных ресурсов, потребляемых при выполнении работы ( $m=1$ );

$N_{расх\ i}$  – количество материальных ресурсов  $i$ -го вида, планируемых к использованию при выполнении научного исследования (шт., кг, м,  $m^2$  и т.д.);

$C_i$  – цена приобретения единицы  $i$ -го вида потребляемых материальных ресурсов (руб./шт., руб./кг, руб./м, руб./ $m^2$  и т.д.);

$K_T$  – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы (15% от цены материалов).

Стоимость материалов, используемых при разработке данного проекта, приведена в таблице 11.

Таблица 11 – Материальные затраты на выполнение научного исследования

Наименование	Единица измерения	Количество	Цена за ед., руб.	Затраты на материалы, (Зм), руб.
Бумага для принтера	упаковка	1	300	300
Канцелярские принадлежности	штук	1	720	720
Скоросшиватели	штук	1	50	50
Рабочая тетрадь	штук	2	30	60
Итого:				1130

Таким образом материальные затраты на выполнение данного научно-технического исследования составляют 1130 рублей.

#### 5.4.4.2 Сумма амортизационных отчислений

В данном разделе представлены все затраты, связанные с приобретением специального оборудования которое необходимо для реализации научно-исследовательской работы.

При приобретении оборудования учитывается часть затрат на его доставку и монтаж в размере 15% от его цены.

Расчет амортизационных отчислений проводится по следующей формуле:

$$A_0 = \frac{C_{п} * H_0}{100 * T_{раб.дг.год}} * T_{раб}$$

Где:

$A_0$  – амортизационные отчисления, руб;

$C_{п}$  – стоимость оборудования, руб;

$H_0$  – норма амортизационных отчислений, для каждого оборудования, %

$T_{раб.дг.год}$  – рабочие дни в 2021 году, 247 дней;

$T_{раб}$  – дни эксплуатации в проекте.

Норма амортизационных отчислений считается по формуле:

$$H_0 = \frac{1}{n} * 100$$

где  $n$  – срок эксплуатации оборудования на производстве, лет.

Таблица 12 –Амортизационные отчисления на оборудование

№ п/п	Наименование оборудования	Кол-во оборудования, ед	Стоимость ед. оборудования, руб.	Амортизация, руб.
1	Персональный компьютер	1	30690	795,2
2	Приобретение права использования программы AUTOCAD LT	1	21000	5441,3
3	Комплект офисных приложений Microsoft Office 365 Personal	1	3600	932,8
Итого				7169,3

Расчет показателей амортизации, результаты представлены в таблице 8.

$$A_1 = \frac{30690 \cdot 10 \cdot 64}{100 \cdot 247} = 795,2 \text{ руб};$$

$$A_2 = \frac{21000 \cdot 100 \cdot 64}{100 \cdot 247} = 5441,3 \text{ руб};$$

$$A_3 = \frac{3600 \cdot 100 \cdot 64}{100 \cdot 247} = 932,8 \text{ руб.}$$

Таким образом были определены амортизационные отчисления на разработку проекта, которые составили 7169,3 руб.

#### 5.4.4.3 Расчет основной заработной платы

В данном разделе прописываются основная заработная плата инженера и научного руководителя. Величина заработной платы определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы окладов и тарифных ставок.

Заработная плата является совокупностью основной и дополнительной заработной платы.

В состав основной заработной платы включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы в размере 20 –30 % от тарифа или оклада.

Формула расчета заработной платы представлена ниже:

$$Z_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп}$$

Где:

$Z_{зп}$  – заработная плата;

$Z_{осн}$  – основная заработная плата;

$Z_{доп}$  – дополнительная заработная плата.

Расчет основной заработной платы выполняем по формуле, представленной ниже:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_p$$

Где:

$Z_{дн}$  – среднедневная заработная плата, руб.;

$T_p$  – продолжительность работ, выполняемых работником, раб. дн.

Расчет среднедневной заработной платы выполняем по формуле:

$$Z_{дн.} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d}$$

Где:

$Z_m$  – месячный должностной оклад, руб.;

$M$  – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

при отпуске в 48 раб. дней  $M=10,4$  месяца, 6-дневная неделя;

$F_d$  – действительный годовой фонд рабочего времени персонала, раб. Дн.

Таблица 13 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Инженер
Календарное число дней	366	
Количество нерабочих дней: (выходные и праздничные дни)	62	
Потери рабочего времени: (отпуск, невыходы по болезни)	52	
Действительный годовой фонд рабочего времени	252	

Зарплата за месяц рассчитывается по формуле, представленной ниже:

$$Z_M = Z_{TC} \cdot (1 + k_{пр} + k_d) \cdot k_p$$

Где:

$Z_{TC}$  – заработная плата за месяц по тарифной ставке, руб.;

$k_{пр}$  – премиальный коэффициент, равный 0,3 (т.е. 30% от  $Z_{TC}$ );

$k_d$  – коэффициент доплат и надбавок, равный 0,2;

$k_p$  – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

1) Расчёт заработной платы

$$Z_{м.рук} = 26624 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 65644,8 \text{ руб.};$$

$$Z_{м.инж} = 21760 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 42432 \text{ руб.}$$

2) Расчет среднедневной заработной платы:

$$Z_{дн.рук} = \frac{65644,8 \cdot 10,4}{252} = 2709,2 \text{ руб.};$$

$$Z_{дн.инж} = \frac{42432 \cdot 10,4}{252} = 1751,2 \text{ руб.}$$

3) Расчёт основной заработной платы:

$$Z_{осн.рук} = 2709,2 \cdot 12 = 32510,4 \text{ руб.};$$

$$Z_{осн.инж} = 1751,2 \cdot 86 = 150603,2 \text{ руб.}$$

Результат расчетов представлен в таблице 14.

Таблица 14 – Расчет основной заработной платы

Исполнители	$Z_{TC}$ , руб.	$k_{пр}$	$k_d$	$k_p$	$Z_M$ , руб.	$Z_{дн}$ , руб.	$T_p$ , раб. дн.	$Z_{осн}$ , руб.
Руководитель	26624	0,3	0,2	1,3	65644,8	2709,2	9	32510,4
Инженер	21760	0,3	0,2	1,3	42432	1751,2	67	150603,2
Затраты по основной заработной плате, руб.	183113,6							

#### 5.4.4.4 Дополнительная заработная плата

Затраты по дополнительной заработной плате руководителя и инженера учитывают величину предусмотренных Трудовым кодексом РФ доплат за отклонение от нормальных условий труда, а также выплат, связанных с обеспечением гарантий и компенсаций.

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$Z_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot Z_{\text{осн}}$$

Где:  $k_{\text{доп}}$  – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимается равным 0,12 – 0,15).

$$Z_{\text{доп.рук}} = 0,15 \cdot 32510,4 = 4876,6 \text{ руб.};$$

$$Z_{\text{доп.инж}} = 0,15 \cdot 150603,2 = 22590,5 \text{ руб.};$$

$$Z_{\text{доп}} = 22590,5 + 4876,6 = 27467,1 \text{ руб.}$$

#### 5.4.4.5 Отчисления во внебюджетные фонды

В данном пункте отражаются обязательные отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС) от затрат на оплату труда работников.

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется формуле:

$$Z_{\text{внеб.}} = k_{\text{внеб.}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}})$$

Где:

$k_{\text{внеб.}}$  – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды.

Расчет отчислений во внебюджетные фонды:

$$Z_{\text{внеб.рук.}} = 0,3 \cdot (32510,4 + 4876,6) = 11216,1 \text{ руб.};$$

$$Z_{\text{внеб.инж.}} = 0,3 \cdot (150603,2 + 22590,5) = 51958,1 \text{ руб.};$$

$$Z_{\text{внеб.}} = Z_{\text{внеб.рук.}} + Z_{\text{внеб.инж.}} = 11216,1 + 51958,1 = 63174,2 \text{ руб.}$$

#### 5.4.4.6 Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты, не вошедшие в предыдущие статьи, такие как ксерокопирование и печать материалов



исследования, размножение материалов, оплата электроэнергии, услуг связи, телеграфные, почтовые расходы и т.д.

Величина накладных расходов определяется по следующей формуле:

$$Z_{\text{накл.}} = (\text{сумма статей } 1 \div 7) * k_{\text{нр}}$$

Где:

$k_{\text{нр}}$  – коэффициент, учитывающий накладные расходы, принимается равной 16%.

В данный раздел входят затраты на электроэнергию:

$$Z_{\text{э}} = T_{\text{э}} * M * T_{\text{раб}} = 3.42 * 176 * 5 * 24 = 72230 \text{ руб.}$$

Где:

$Z_{\text{э}}$  – затраты на электроэнергию, руб;

$T_{\text{э}}$  – тариф электроэнергии 1кВт/ч, руб/(кВт/ч);

$M$  – мощность, потребляемая двигателями насосов, кВт;

$T_{\text{раб}}$  – число рабочих часов оборудования для исследования, ч.

#### **5.4.4.7 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта**

Рассчитанная величина затрат работ по разработке проекта является основой для формирования бюджета затрат проекта, который при формировании договора с заказчиком защищается научной организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку научно-технической продукции.

Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект по каждому варианту исполнения приведен в таблице 15.

Таблица 15 – Расчет бюджета затрат на разработку проекта

Наименование статьи	Сумма, руб.	%
1. Материальные затраты	1130	0,319
2. Амортизация оборудования и программных комплексов	7169,3	2,024
3. Затраты по основной заработной плате	183113,6	51,69
4. Затраты по дополнительной заработной плате	27467,1	7,753

5. Отчисления во внебюджетные фонды	63174,2	17,832
6. Накладные расходы	72230	20,388
Бюджет затрат проекта	354284,2	100

Таким образом в ходе расчетов об были определены затраты на разработку проекта, сумма необходимая на его реализация составляет 354284,2 рублей.

Основные расходы пришлось на статью затрат по заработной плате – 51,69 % от общего бюджета проекта.

### **5.5 Определение ресурсосберегающей, финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности проекта**

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования.

Интегральный показатель ресурсоэффективности рассчитывается по следующей формуле:

$$I_{pi} = \sum ai * bi$$

Где:

$I_{pi}$ – интегральный показатель ресурсоэффективности;

$a_i$  – весовой коэффициент проекта;

$b_i$ – бальная оценка проекта, устанавливается экспериментальным путем по выбранной шкале оценивания.

Таблица 16 – Оценка характеристик проекта

Критерии	Весовой коэффициент	Бальная оценка разработки
1. Способствует росту производительности труда пользователя	0,1	5
2. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,15	4
3. Помехоустойчивость	0,15	5
4. Энергосбережение	0,20	4
5. Надежность	0,25	4

б. Материальность	0,15	4
ИТОГО	1	

Для данного проекта интегральный показатель ресурсоэффективности составит:

$$I_{pi} = 0,1*5+0,15*4+0,15*5+0,20*4+0,25*4+0,15*4 = 4,25$$

Полученное значение интегрального показателя свидетельствует о достаточно высокой эффективности реализуемого проекта.

В ходе выполнения раздела «Финансовый менеджмент» был выполнен SWOT-анализ проекта, в ходе которого были выявлены потенциальные внутренние и внешние сильные и слабые стороны, возможности и угрозы проекта. Результат анализа показал, что потенциально сильные стороны проекта преобладают над слабыми сторонами, что свидетельствует об перспективности разработки данного проекта.

На основе временных показателей по каждой из произведенных работ был построен календарный план-график, согласно которому, самая продолжительная по времени работа – это расчетная часть проекта.

Суммарное капиталовложение после формирования бюджета затрат на проектирование составило 354284,2 рублей.

Значения полученных показателей ресурсоэффективности свидетельствуют о достаточно высокой эффективности реализации технического проекта.

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
4Г7Б	Хохлаков Роман Евгеньевич

Школа	ИШНПТ	Отделение (НОЦ)	НОЦ Н.М. Кижнера
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	18.03.01 «Химическая технология»

Тема ВКР:

Разработка насадочной абсорбционной колонны для аминовой очистки сероводородсодержащих газов	
<b>Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:</b>	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	<p>Объект исследования: насадочная абсорбционная колонна</p> <p>Рабочая зона: завод АО «АНПЗ ВНК».</p> <p>Область применения: нефтеперерабатывающая промышленность</p>
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
<p><b>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства;</li> <li>– организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.</li> </ul>	<p>"Трудовой кодекс Российской Федерации" от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 01.04.2019)</p> <p>ГОСТ 12.2.049-80 ССБТ. Оборудование производственное. Общие эргономические требования.</p> <p>ГОСТ Р ИСО 14738-2007. Безопасность машин. Антропометрические требования при проектировании рабочих мест машин</p>
<p><b>2. Производственная безопасность:</b></p> <p>2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов</p> <p>2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия</p>	<p>2.1 Выявление вредных факторов в рабочей зоне при эксплуатации оборудования:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Повышенный уровень шума;</li> <li>- Загазованность рабочей зоны;</li> <li>- Недостаточная освещенность;</li> </ul> <p>2.2 Выявление опасных факторов в рабочей зоне при эксплуатации оборудования:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- электробезопасность (вероятность поражения электрическим током, токоотводящие части</li> </ul>

	электрооборудования). - повышенная температура поверхности оборудования.
<b>3. Экологическая безопасность:</b>	- Воздействие на атмосферу: выбросы извлекаемых токсичных газов: CO <sub>2</sub> , SO <sub>2</sub> ; - Воздействие на гидросферу: вода, отводимая от охлаждения компрессоров. - Воздействие на литосферу: загрязнение жидкими отходами - отработанным маслом, моноэтаноламином.
<b>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</b>	Возможные ЧС: ураганы, подтопления территорий, природные пожары. Наиболее типичная ЧС: нарушение герметизации трубопровода для подачи газовой смеси.

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	29.01.2021
--	------------

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Черемискина Мария Сергеевна	-		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4Г7Б	Хохряков Роман Евгеньевич		

## 6 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

### ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время шаги, предпринимаемые организацией, для совершенствования управленческой деятельности определяют успех организации наравне с воздействиями на внутренние факторы производства, иными словами заинтересованность в благоприятном отношении к своим работникам и к обществу в целом характеризует предприятие с наилучшей стороны.

Социальная ответственность характеризуется добровольным решением организации проявлять заинтересованность во всестороннем социальном обеспечении нужд сотрудников и защите окружающей среды.

В данном разделе необходимо рассмотреть вопросы, связанные с организацией рабочего места инженера в соответствии с нормами техники безопасности, производственной санитарии, охраны окружающей среды.

Охрана труда рабочего персонала на предприятии предусматривает выполнение требований, прописанных в конституции Российской Федерации. Выполнение этих правил и норм является обязательным.

Главной целью охраны труда является создание благоприятных условий для обеспечения безопасности человека в процессе труда, минимальной вероятности получения травм и заболеваний работниками. Проведение мероприятий по охране труда обеспечивает улучшение условий труда и повышение его производительности.

Целью данного научного исследования 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 [24,25].

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 м<sup>2</sup>. Рекомендуемая продолжительность рабочего времени за экраном монитора 4 часа исходя из восьми 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 17.

Таблица 17 - Возможные опасные и вредные факторы

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ			Нормативные документы
	Разраб отки	Изго товле ние	Экспл уатац ия	
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 [27].
Недостаточная освещённость рабочей зоны	+	+	+	3. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278–03. Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещённому освещению жилых и общественных зданий [28]. 4. СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95* [29].
Отклонение параметров микроклимата	+	+	+	5. ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны [30]. 6. СанПиН 2.2.4.548–96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений [31].
Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может пройти через тело человека	+	+	+	7. ГОСТ 12.1.030-81 ССБТ. Электробезопасность. Защитное заземление, зануление [32]. 8. СанПиН 2.2.4.3359–16. Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах [33].

### 6.2.1 Анализ опасных и вредных факторов

#### 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 [34].

Таблица 18 – 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

### **Недостаточная освещенность рабочей зоны**

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, соответствуют разряды зрительных работ. Наибольшее освещение требуется в помещениях лабораторий, разряд зрительных работ А-2 (400 лк), разряд зрительных работ З-1 (30 лк) соответствует помещениям с лестничными клетками и пролетами и требует наименьшего освещения.

### **Отклонение параметров микроклимата**

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 [35].

Оптимальные величины параметры микроклимата на рабочих местах производственных помещений исходя из класса работ представлены в таблице 19.

Таблица 19 - 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	≥ 0,2
Теплый	26 (201-250 ккал/час)	19-21	18-22	60-40	≥ 0,2

### **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 нетокведущим частям, выполненным из проводящего электрический ток материала, после перехода на них напряжения с токоведущих частей.

## **6.2.2 Обоснование мероприятий по снижению уровней воздействия опасных и вредных факторов на работника НПЗ**

### **Повышенный уровень шума**

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 СНиП 23-03-2003 [36] для снижения уровня шума 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.

### **Недостаточная освещенность рабочей зоны**

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.

### **Отклонение параметров микроклимата**

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.

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

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 электрозащитным 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.

### **6.3 Экологическая безопасность**

В процессе работы абсорбционной колонны используются вредоносные вещества, неправильное обращение с которыми способно причинить вред как персоналу, так и окружающей среде в целом. Такими веществами являются  $H_2S$ ,  $CO_2$  и  $C_2H_7NO$  (моноэтаноламин). В процессе их транспортировки, хранения и использовании в массообмене существует вероятность аварийной ситуации.

Сероводород является наиболее вредоносным веществом и представляет собой легковоспламеняющийся, взрывоопасный газ, при неправильном обращении с которым могут возникнуть ситуации, опасные для жизни.

Основным поражающим фактором в аварийной ситуации с выбросом сероводорода является токсическое поражение, при разгерметизации трубопровода или взрыве контейнера с газом внутри помещения или на открытой площадке - ударная волна и токсическое поражение.

Для обеспечения безопасной работы с вредоносными химическими веществами на производстве необходимо проводить мероприятия по повышению безопасности при работе с высокоопасными соединениями.

При проектировании должны предусматриваться меры по максимально возможному снижению выбросов загрязняющих веществ, а также мероприятия по улавливанию, обезвреживанию и утилизации вредных выбросов и отходов. Способом решения данной проблемы может быть модернизация технологической линии, путем ведения дополнительного оборудования для устранения возможных аварийных ситуаций.

Также при проектировании должны предусматриваться мероприятия по ограничению загрязнений близлежащих водоемов и территорий. Путем решения данной проблемы является повышение контроля за процессами сбора, утилизации и захоронения отработанных веществ.

#### **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 [37] 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.

Выводы по разделу «Социальная ответственность»:

В ходе проделанной работы можно сделать вывод, что практической значимостью полученных результатов является возможность их внедрения на НПЗ. 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.



## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения дипломного проекта был произведен механо-технологический расчет насадочного абсорбера, предназначенного для аминовой очистки сероводородсодержащих газов на НПЗ. В технологическом расчете были рассчитаны основные геометрические размеры аппарата, диаметр абсорбера составил 1,6 м, а высота 6,860 м. Также был проведен конструктивно-механический расчет аппарата, аппарат был рассчитан на прочность и устойчивость, были рассчитаны укрепления отверстий, подобраны штуцера, люки, фланцы. Подобранные элементы оборудования полностью удовлетворяют условиям прочности и устойчивости. Дополнительно была составлена аппаратурно-технологическая схема аминовой очистки и проведен расчет вспомогательного оборудования – насоса. Был подобран насос марки – Х45/21 с производительностью  $Q = 1,25 \cdot 10^{-2} \text{ м}^3/\text{с}$ .

В разделах «Социальная ответственность» и «Финансовый менеджмент» были рассмотрены вопросы обеспечения охраны окружающей среды, безопасной работы персонала, был проведен технико-экономический расчет.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абсорбция, экстрагирование. Расчет, примеры. Учебное пособие / В. С. Щетинин; М-во образования и науки Российской Федерации 2013. - 86 с.
2. Гутник С.П., Сосонко В. Е., Гутман В. Д. Расчёты по технологии органического синтеза: Учебное пособие для техникумов. - М.: Химия, 1988. – 252 с.
3. Иоффе И. Л. Проектирование процессов и аппаратов химической технологии. Л.: Химия, 1991. – 352 с.
4. 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.
5. 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.
6. 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.
7. 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.
8. Александров И.А. Ректификационные и абсорбционные аппараты. Методы расчета и основы конструирования/ 3-е изд. перераб. и доп.: М.: Химия, 1978 г. - 280 с.
9. 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.
10. Домашнев А.Д., Конструирование и расчёт химических аппаратов. - М.: Машгиз, 1961,- 624 с.

11. 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.
12. 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.
13. 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.
14. ГОСТ 34233.1-2017 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Общие требования. – М.: Стандартиформ, 2018.
15. ГОСТ 6533-78, Днища эллиптические отбортованные стальные для сосудов, аппаратов и котлов. М.: Изд-во стандартов, 1978. – 26 с.
16. 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.
17. 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.
18. 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).
19. ГОСТ 12820-80, Фланцы стальные плоские приварные на Ру от 0,1 до 2,5 МПа (от 1 до 25 кгс/см<sup>2</sup>), конструкция и размеры, М.: Изд-во стандартов, 1981. – 12 с.

20. 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.
21. ГОСТ 481-80, Паронит и прокладки из него. Технические условия, М.: ИД «Москва», 2004. – 16 с.
22. ГОСТ Р 52857.4-2004 " Расчет фланцевых соединений".
23. Михалев М.Ф. Расчет и конструирование машин и аппаратов химических производств. Примеры и задачи. М.: изд-во Ленинград «Машиностроение», 1984. — 299 с.
24. Федеральный закон "Об обязательном социальном страховании от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний" от 24.07.1998 N 125-ФЗ (последняя редакция).
25. Федеральный закон "Об основах обязательного социального страхования" от 16.07.1999 N 165-ФЗ (последняя редакция).
26. ГОСТ 12.1.003-2014 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности.
27. СН 2.2.4/2.1.8.562–96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории застройки.
28. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278–03. Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещённому освещению жилых и общественных зданий.
29. СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95\*.
30. ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.
31. СанПиН 2.2.4.548–96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.
32. ГОСТ 12.1.030-81 ССБТ. Электробезопасность. Защитное заземление, зануление.
33. СанПиН 2.2.4.3359–16. Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах.

34. СанПиН 2.2.4.3359–16. "Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах".
35. Р 2.2.013-94 Гигиенические критерии оценки условий труда по показателям вредности и опасности факторов производственной среды, тяжести и напряженности трудового процесса.
36. 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.