

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
 федеральное государственное автономное  
 образовательное учреждение высшего образования  
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа Инженерная школа новых производственных технологий (ИШНПТ)

Направление подготовки 18.03.01 Химическая технология

ООП/ОПОП Химический инжиниринг

Отделение школы (НОЦ) Н.М. Кижнера

### ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА БАКАЛАВРА

Тема работы
<i>Расчет и проектирование основного оборудования установки переработки хвостов медно-обогатительной фабрики</i>

УДК 66.02:622.7'17

Обучающийся

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-4Г81	Джураева Зилола Абдурайимовна		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент НОЦ Н.М. Кижнера	Тихонов В.В.	к.т.н., доцент		

### КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Верховская Марина Витальевна	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ст. преподаватель ООД ШБИП	Мезенцева Ирина Леонидовна			

### ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП/ОПОП, должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент НОЦ Н.М. Кижнера	Горлушко Д.А	к.х.н.		

## ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОСВОЕНИЯ ООП/ОПОП

Код компетенции	Наименование компетенции
<b>Универсальные компетенции</b>	
УК(У)-1	Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач
УК(У)-2	Способен 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	Способен осуществлять социальное взаимодействие и реализовывать свою роль в команде
УК(У)-4	Способен осуществлять деловую коммуникацию в устной и письменной формах на государственном языке Российской Федерации и иностранном(-ых) языке(-ах)
УК(У)-5	Способен воспринимать межкультурное разнообразие общества в социально-историческом, этическом и философском контекстах
УК(У)-6	Способен управлять своим временем, выстраивать и реализовывать траекторию саморазвития на основе принципов образования в течение всей жизни
УК(У)-7	Способен поддерживать должный уровень физической подготовленности для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности
УК(У)-8	Способен создавать и поддерживать безопасные условия жизнедеятельности, в том числе при возникновении чрезвычайных ситуаций
УК(У)-9	Способен 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	Способен и готов использовать основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности
ОПК(У)-2.	Готов использовать знания о современной физической картине мира, пространственно-временных закономерностях, строении вещества для понимания окружающего мира и явлений природы
ОПК(У)-3.	Готов 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, осознанием 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>Профессиональные компетенции</b>	
ПК(У)-1	Способен и готов осуществлять технологический процесс в соответствии с регламентом и использовать технические средства для измерения основных параметров технологического процесса, свойств сырья и продукции
ПК(У)-2	Готов 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	Готов использовать нормативные документы по качеству, стандартизации и сертификации продуктов и изделий, элементы экономического анализа в практической деятельности
ПК(У)-4	Способен принимать конкретные технические решения при разработке технологических процессов, выбирать технические средства и технологии с учетом экологических последствий их применения
ПК(У)-5	Способен 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	Способен налаживать, настраивать и осуществлять проверку оборудования и программных средств
ПК(У)-7	Способен проверять техническое состояние, организовывать профилактические осмотры и текущий ремонт оборудования, готовить оборудование к ремонту и принимать оборудование из ремонта
ПК(У)-8	Готов к освоению и эксплуатации вновь вводимого оборудования
ПК(У)-9	Способен анализировать техническую документацию, подбирать оборудование, готовить заявки на приобретение и ремонт оборудования
ПК(У)-10	Способен проводить анализ сырья, материалов и готовой продукции, осуществлять оценку результатов анализа
ПК(У)-11	Способен выявлять и устранять отклонения от режимов работы технологического оборудования и параметров технологического процесса
ПК(У)-21	Готов разрабатывать проекты в составе авторского коллектива
ПК(У)-22	Готов использовать информационные технологии при разработке проектов
ПК(У)-23	Способен проектировать технологические процессы с использованием автоматизированных систем технологической подготовки производства в составе авторского коллектива

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
 федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования  
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа Инженерная школа новых производственных технологий (ИШНПТ)  
 Направление подготовки 18.03.01 Химическая технология  
 ООП/ОПОП Химический инжиниринг  
 Отделение школы (НОЦ) Н.М. Кижнера

УТВЕРЖДАЮ:  
 Руководитель ООП/ОПОП

\_\_\_\_\_  
 (Подпись) (Дата)                      (ФИО)

### ЗАДАНИЕ на выполнение выпускной квалификационной работы

Обучающийся:

Группа	ФИО
3-4Г81	Джураева Зилола Абдурайимовна

Тема работы:

<i>Расчет и проектирование основного оборудования установки переработки хвостов медно-обогатительной фабрики</i>	
<i>Утверждена приказом директора (дата, номер)</i>	<i>№34-95/с от 03.02.2023 г.</i>

Срок сдачи обучающимся выполненной работы:	13.06.2023 г.
--	---------------

#### ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p><b>Исходные данные к работе</b>  <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 функционированию (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.)</i></p>	<p>длина колонны: 5 метров, диаметр колонны: 60 см, объем сорбента: 250 литров, тип сорбента: ионообменная смола, скорость потока раствора: 100 л/мин, концентрация ионов меди в растворе: 50 г/л, эффективность очистки: 99%, максимальное давление: 10 атмосфер, рабочая температура: 25-40 градусов цельсия, материал корпуса: сталь с внутренним покрытием из резины.</p>
<p><b>Перечень разделов пояснительной записки подлежащих исследованию, проектированию и разработке</b>  <i>(аналитический обзор литературных источников с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе)</i></p>	<p>1 ОБЗОР ИСТОЧНИКОВ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ ЛИТЕРАТУРЫ            2 ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ СХЕМА            3 ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ            4 КОНСТРУКТИВНЫЙ РАСЧЁТ АППАРАТА            5 МЕХАНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ</p>
<p><b>Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)</b></p>	<p>Чертеж сорбционной колонны</p>

<b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b> (с указанием разделов)	
<b>Раздел</b>	<b>Консультант</b>
<b>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</b>	<b>Верховская М.В., доцент ОСГН ШБИП, к.э.н.</b>
<b>Социальная ответственность</b>	<b>Мезенцева И.Л., ст. преподаватель ООД ШБИП</b>

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

**Задание выдал руководитель**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Доцент НОЦ Н.М. Кижнера	Тихонов Виктор Владимирович	к.т.н.		

**Задание принял к исполнению обучающийся:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
3-4Г81	Джураева Зилола Абдурайимовна		



Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа Инженерная школа новых производственных технологий (ИШНПТ)  
Направление подготовки 18.03.01 Химическая технология  
ООП/ОПОП Химический инжиниринг  
Отделение школы (НОЦ) Н.М. Кижнера  
Период выполнения \_\_\_\_\_ (осенний / весенний семестр 2021/2022 учебного года)

**КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН  
выполнения выпускной квалификационной работы**

Обучающийся:

Группа	ФИО
3-4Г81	Джураева Зилола Абдурайимовна

Тема работы:

<i>Расчет и проектирование основного оборудования установки переработки хвостов медно-обогатительной фабрики</i>
--

Срок сдачи обучающимся выполненной работы:	13.06.2023 г.
--	---------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
19.12.2022 г.	Определение темы ВКР и получение задания. Подбор и первоначальное ознакомление с литературными источниками по избранной теме. Составление предварительного плана выпускной квалификационной работы.	6
09.01.2023 г.	Составление окончательного плана выпускной квалификационной работы, согласование плана с руководителем ВКР.	6
21.04.2023 г.	Сбор и обработка фактического материала, написание «черновика» выпускной квалификационной работы, предоставление «черновика» на проверку руководителю.	15
19.05.2023 г.	Доработка ВКР с учетом замечаний руководителя, оформление работы в соответствии со стандартами, формирование «чистовика» ВКР.	7
13.06.2023 г.	Загрузка полностью готовой ВКР в ЭБС ТПУ.	7
07.06.2023 г.	Подготовка к защите выпускной квалификационной работы: подготовка доклада и раздаточного материала, консультации с руководителем.	7
13.06.2023 г.	Сдача полностью готовой работы, с подписанной социальной ответственностью, пройденным нормоконтролем, с рецензией с предприятия и отзывом руководителя ответственному за ГАК в ШИП.	7
13.06.2023 г.	Оценка руководителем качества выполненной работы, в том числе:	-----
	Оригинальность темы / Актуальность использованного материала / Научное обоснование исследуемой проблемы	7

	Четкость, последовательность, грамотность изложения материала в тексте ВКР	7
	Оформление в соответствии с ГОСТ и Стандартом ТПУ на ВКР	7
	Собственный вклад студента в решение рассматриваемой проблемы	12
	Владение тематикой / Способность к свободному изложению материала	12
	Итого	100

**СОСТАВИЛ:**

**Руководитель ВКР**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент НОЦ Н.М. Кижнера	Тихонов Виктор Владимирович	к.т.н.		

**СОГЛАСОВАНО:**

**Руководитель ООП/ОПОП**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент НОЦ Н.М. Кижнера	Горлушко Д.А	к.х.н.		

**Обучающийся**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-4Г81	Джураева Зилола Абдурайимовна		

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 100 с., 8 рис., 12 табл., 20 источников, 1 приложение формата А1.

Ключевые слова: расчёт, проектирование, оборудование, установка, переработка, медно-обогащительная, фабрика, сорбционная колонна.

Объектом исследования является медно-обогащительная фабрика АО «Алмалыкский ГМК» за 2022 год.

Цель работы – расчет и проектирование основного оборудования установки переработки хвостов медно-обогащительной фабрики.

В ходе работы проводились: механический расчёт сорбционной колонны, прочностной расчёт сорбционной колонны, расчёт основных показателей колонны, проектирование колонны, расчет стоимости основного оборудования, организация заработной платы, расчет калькуляции себестоимости, расчет технико-экономических показателей.

В результате можно сказать, что расчет и проектирование основного оборудования установки переработки хвостов медно-обогащительной фабрики является очень важным и ответственным этапом в создании такой установки. В процессе разработки необходимо учитывать все технические, экономические и экологические аспекты, чтобы получить оптимальное решение. Основное оборудование должно быть надежным, эффективным, экономичным и безопасным при эксплуатации. Также следует учитывать возможность модернизации и дальнейшего развития установки. Кроме того, важно обеспечить соответствие проекта требованиям законодательства и стандартов по охране окружающей среды. Все это позволит создать эффективную и конкурентоспособную установку переработки хвостов медно-обогащительной фабрики, которая будет способствовать экономическому развитию и улучшению экологической ситуации в регионе.

Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики: длина колонны: 5 метров, диаметр



колонны: 60 см, объем сорбента: 250 литров, тип сорбента: ионообменная смола, скорость потока раствора: 100 л/мин, концентрация ионов меди в растворе: 50 г/л, эффективность очистки: 99%, максимальное давление: 10 атмосфер, рабочая температура: 25-40 градусов цельсия, материал корпуса: сталь с внутренним покрытием из резины.

Область применения: горно-обогатительное производство, медное производство.

В будущем планируется дальше развивать работу фабрики и обновлять оборудование.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	12
1 ОБЗОР ИСТОЧНИКОВ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ ЛИТЕРАТУРЫ .....	14
2 ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ СХЕМА .....	19
3 ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ .....	21
3.1 Определение поверхности теплообмена.....	21
3.1.1 Исходные данные.....	21
3.1.2 Расчет расходов теплоносителей .....	22
3.1.3 Коэффициент теплоотдачи щелочи .....	24
3.1.4 Коэффициент теплоотдачи для пара.....	25
3.2 Расчет гидравлического сопротивления.....	26
3.3 Расчет изоляции .....	26
4 КОНСТРУКТИВНЫЙ РАСЧЁТ АППАРАТА.....	29
4.1 Расчет штуцеров и подбор фланцев .....	29
5 МЕХАНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ .....	31
5.1 Выбор конструкционных материалов и расчетные параметры .....	32
5.2 Расчет толщины цилиндрической обечайки .....	34
5.3 Расчет толщины стенки эллиптического днища.....	36
5.4 Расчет температурных деформаций.....	38
5.5 Расчет толщины трубных решеток .....	39
5.6 Расчет на прочность и герметичность фланцевых соединений .....	40
5.7 Расчет необходимости укрепления отверстий .....	52
5.8 Поверочный расчет .....	54
5.9 Расчет опор и ушек для вертикального подогревателя.....	65
6 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ.....	74
6.1 Расчет стоимости основного оборудования.....	74
6.2 Организация заработной платы .....	77
6.3 Расчет калькуляции себестоимости .....	80
6.4 Расчет технико-экономических показателей .....	83

7 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ.....	87
7.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности .....	87
7.1.1 Специальные правовые нормы трудового законодательств .....	87
7.1.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны .....	88
7.2 Производственная безопасность .....	89
7.2.1 Производственная санитария.....	91
7.2.2 Освещение .....	92
7.2.3 Производственные шумы.....	92
7.2.4 Пожаробезопасность.....	92
7.3 Экологическая безопасность.....	93
7.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях .....	94
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	96
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ .....	98
ПРИЛОЖЕНИЕ А (обязательное) Чертёж сорбционной колонны .....	100

## ВВЕДЕНИЕ

Утилизация вторичных энергоресурсов, образующихся при осуществлении технологических процессов, имеет важное значение. Рациональное использование вторичных энергоресурсов снижает эксплуатационные затраты на топливо и уменьшает загрязнение окружающей среды.

Передача тепла осуществляется за счет контакта нагреваемой системы через стенку аппарата с теплоносителем, обладающим высоким теплосодержанием или при непосредственном контакте с нагреваемым материалом. Теплоноситель - вещество или система веществ, используемые в качестве среды для нагревания.

В качестве теплоносителей для средне- и низкотемпературных процессов в химической промышленности применяются горячий воздух, горячая вода, насыщенный и перегретый водяной пар, топочные газы, горячий воздух, горячая вода, насыщенный и перегретый водяной пар, топочные газы, высококипящие органические соединения, твердые зернистые материалы (обычно зерна катализатора). [1]

Теплообменные процессы, широко используемые при различных способах

утилизации отходов, реализуются с помощью аппаратов, выполняющих функции нагревателей, охладителей, кипятильников, испарителей, конденсаторов и т.п. Теплообменные процессы лежат в основе работы ректификационных, сорбционно- десорбционных, выпарных, экстракционных и других установок. [2]

Цель данной работы - проектирование проточного теплообменного аппарата для нагревания выщелачивания хвостов меднообогатительной фабрики раствора гидроксида натрия на предприятии АО Алмалыкский ГМК, расположенный в г. Алмалык республика Узбекистан.

Хвосты медно-обогатительной фабрики раствора гидроксида натрия на предприятии АО Алмалыкский ГМК, расположенный в г. Алмалык республика Узбекистан.

Для достижения поставленной в работе цели, необходимо решить следующие основные задачи провести технологические и конструктивные расчеты проектируемого теплообменника; рассмотреть вопросы социальной ответственности, финансового менеджмента, ресурсоэффективности и ресурсосбережения.

Объектом исследования в данной работе является теплообменник для нагревания раствора гидроксида натрия.

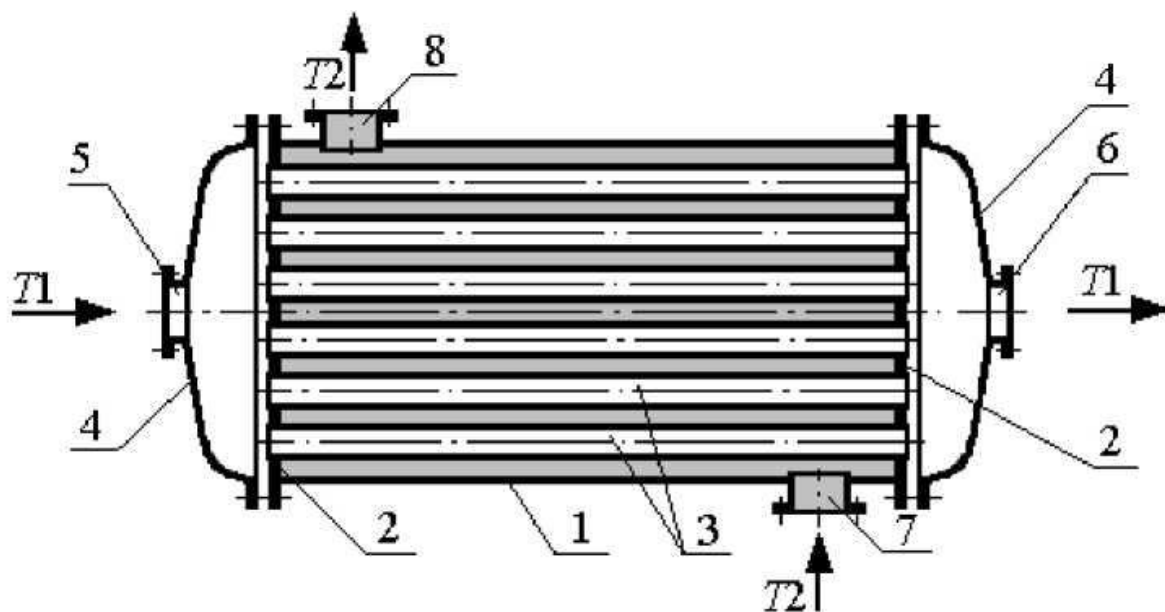
Предмет исследования – технологические и конструктивные характеристики аппарата.

# 1 ОБЗОР ИСТОЧНИКОВ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

Так как при понижении температуры меняется ее вязкость для подогрева щелочи в зимнее время используются кожухотрубчатые теплообменники.

Кожухотрубчатые теплообменники являются наиболее распространёнными среди трубчатых. При относительной простоте конструкции они обладают достаточно большой удельной поверхностью теплообмена.

Конструкцию и принцип действия кожухотрубчатых теплообменников рассмотрим на примере самого простого из них - одноходового по трубному и межтрубному пространству теплообменника с неподвижными трубными решётками (с жестким креплением труб), который показан на рис. 1.1.



1 - кожух; 2 - трубные решетки; 3 - трубы; 4 - крышки; 5 и 6 - штуцера трубного пространства; 7 и 8 - штуцера межтрубного пространства;

T1 - теплоноситель в трубное пространство; T2 - теплоноситель в межтрубное пространство [3]

Рисунок 1.1 - Одноходовой кожухотрубчатый теплообменник с жестким креплением труб

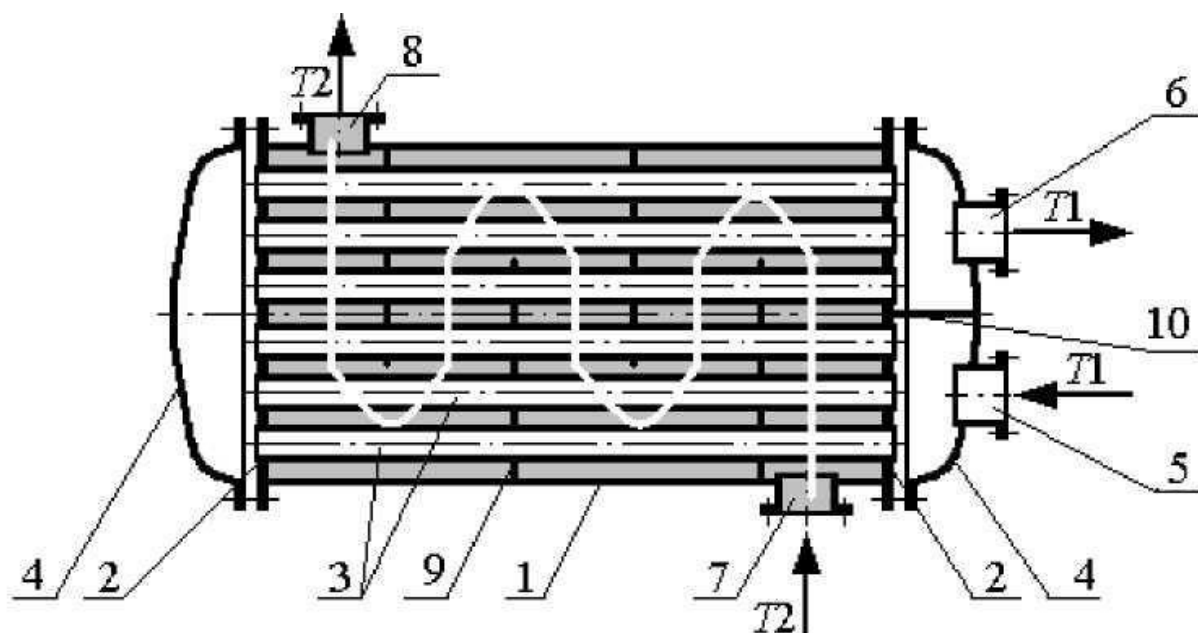
Второй теплоноситель (Т2) подают в межтрубное пространство аппарата через штуцер 7 отводят из него через штуцер 8. Проходя через теплообменник, один из теплоносителей омывает внутреннюю поверхность труб 3, а второй - наружную. При этом между теплоносителями осуществляется теплообмен (горячий теплоноситель отдаёт тепло холодному через стенки труб).

В многоходовых кожухотрубчатых теплообменниках за счёт секционирования потоков теплоносителей при меньших их расходах по сравнению с одноходовыми удаётся достичь интенсивного движения, турбулентности и, как следствие, увеличения коэффициентов теплоотдачи и теплопередачи.

Многоходовыми теплообменники могут быть как по трубному, так и по межтрубному пространствам, так и по обоим пространствам одновременно. [3]

Трубное пространство секционируют за счёт установки перегородок 10 в распределительных камерах, межтрубное пространство - за счёт установки поперечных перегородок 9 в нём, обычно сегментных (см. рис. 1.2 и 1.3).

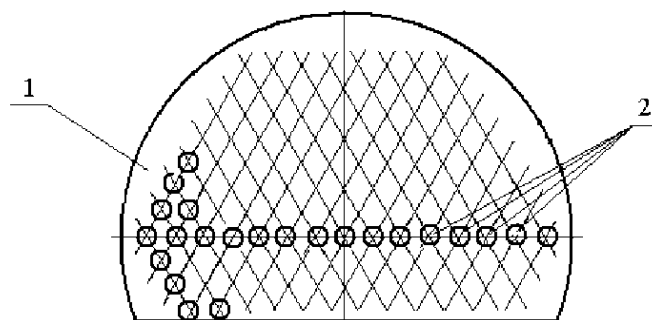
Сегментная перегородка представляет собой пластину 1 с отверстиями 2 под трубы. Соседние сегментные перегородки устанавливаются в теплообменнике повернутыми на 180 градусов по отношению друг к другу. Используются и другие исполнения перегородок межтрубного пространства, например, сочетание «диск - кольцо». Стандартные числа ходов по трубному пространству кожухотрубчатых теплообменников - один, два, четыре и шесть.



1 - кожух; 2 - трубная решетка; 3 - трубы; 4 - крышка; 5 и 6 - штуцера трубного пространства; 7 и 8 - штуцера межтрубного пространства; 9 - поперечные перегородки в межтрубном пространстве; 10 - перегородка в распределительной камере. T1 - теплоноситель в трубное пространство; T2 - теплоноситель в межтрубное пространство

Рисунок 1.2 - Многоходовой по трубному и межтрубному пространству кожухотрубчатый теплообменник с жестким креплением труб [3]

За счёт интенсификации теплообмена многоходовые теплообменники компактнее одноходовых. Однако они сложнее, дороже, у них больше гидравлическое сопротивление, в них нельзя осуществить чистый противоток теплоносителей.

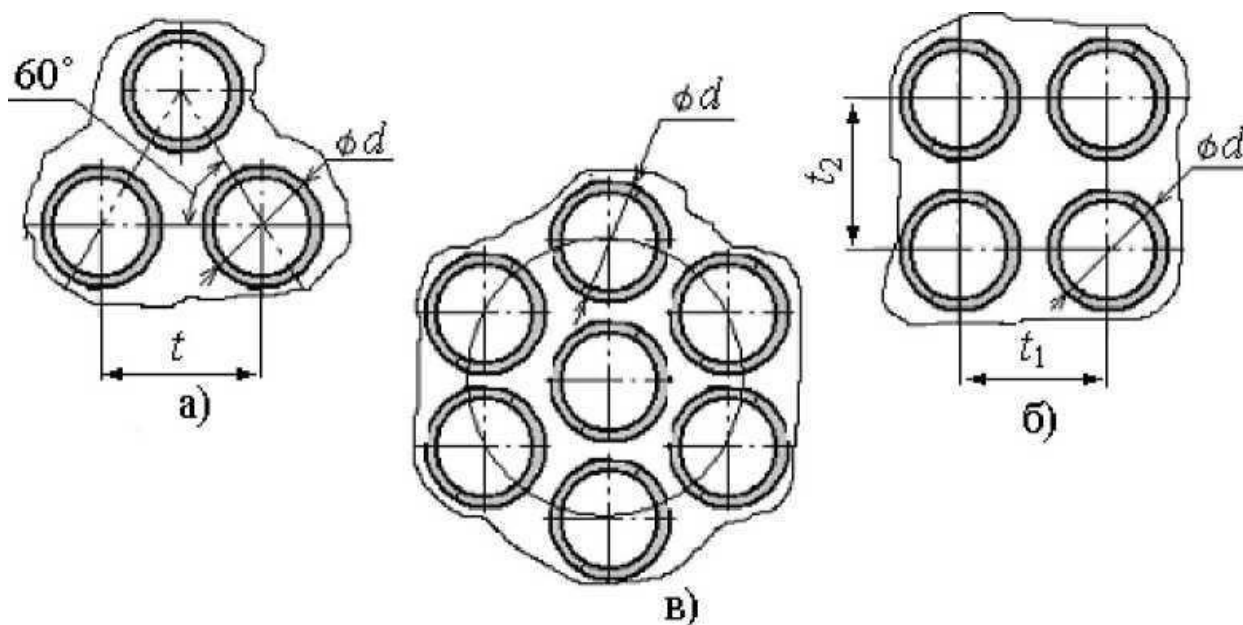


1 - пластина (сегмент больший, чем полкруга); 2 - отверстия под трубы

Рисунок 1.3 - Сегментная перегородка [3]



Отверстия под трубы в трубных решётках кожухотрубчатых теплообменников чаще всего выполняют по вершинам равносторонних треугольников (шахматное расположение), реже по сторонам квадрата (коридорное) или по концентрическим окружностям (см. рис. 1.4). Шаг расположения отверстий обычно составляет от 1,25 до 1,4  $d$  ( $d$  - наружный диаметр трубы).



а - шахматное (по вершинам равностороннего треугольника); б - коридорное (по вершинам прямоугольника, рядное); в - по концентрическим окружностям [3]

Рисунок 1.4 - Размещение труб в трубных решетках

Обозначения на рисунке:  $d$  - наружный диаметр трубы;  $t$  - шаг расположения труб;  $t_1$  - поперечный шаг;  $t_2$  - продольный шаг.

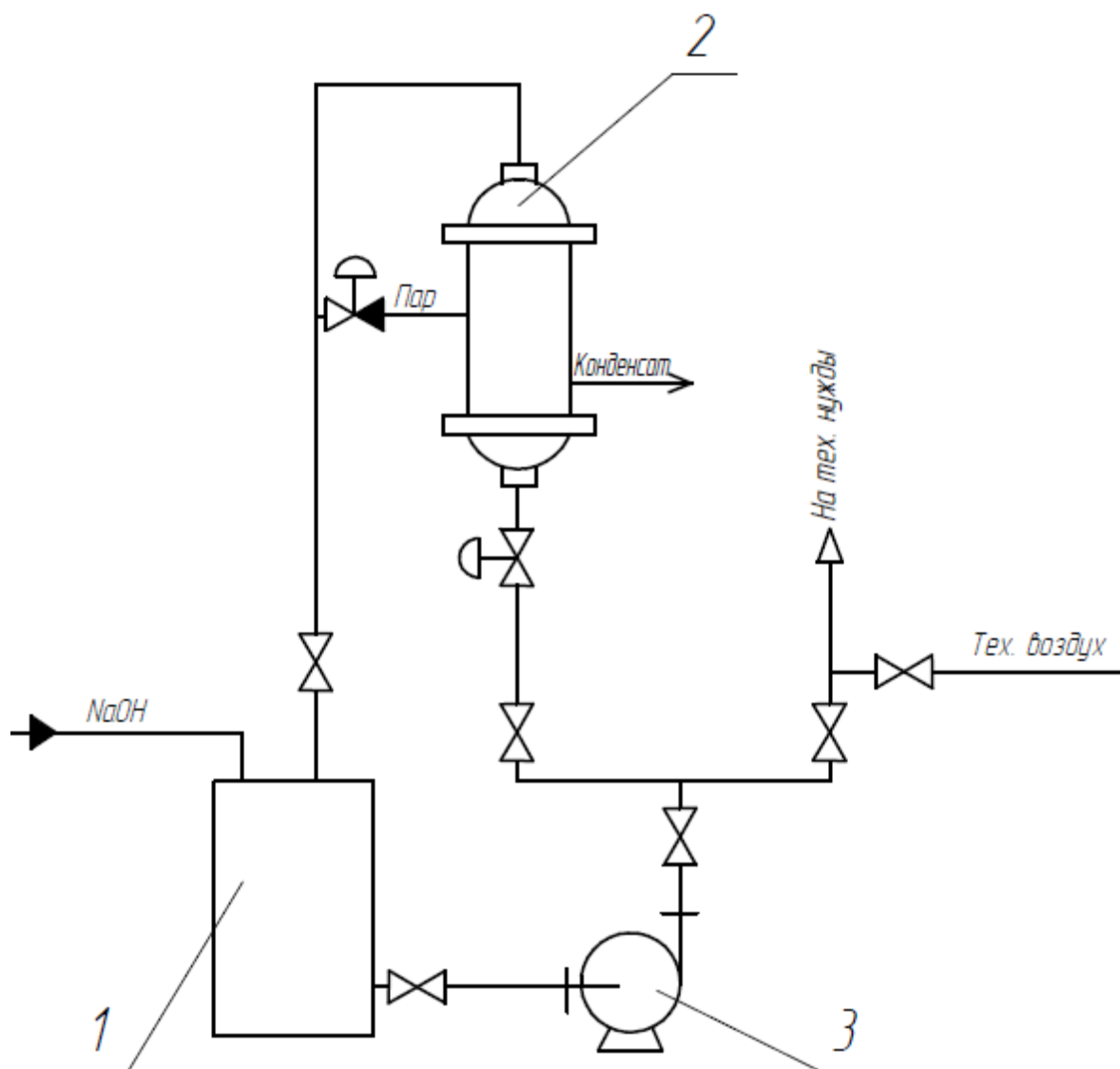
Закрепляют трубы в трубных решётках сальниковыми муфтами, развальцовкой, сваркой, развальцовкой с подваркой, пайкой и другими методами.

При работе теплообменника его кожух и трубы имеют различные температуры. Кожух и трубы теплообменника, как правило, изготовлены из различных материалов. Поэтому они имеют различные по величине линейные температурные расширения и, как следствие, подвергаются

воздействию температурных напряжений. Эти напряжения возрастают при увеличении разности температур теплоносителей. Температурные напряжения вызывают деформации элементов конструкции теплообменника и могут стать причиной разрушения.

## 2 ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ СХЕМА

Проектируемый теплообменник предназначен для нагрева раствора гидроксида натрия от начальной температуры 5°C до температуры 40°C. В качестве греющего агента выступает насыщенный пар давлением 0,2 МПа. Плотность раствора гидроксида натрия составляет 250кг/м<sup>3</sup>.



1 - сборник; 2- кожухотрубный теплообменник; 3- насос

Рисунок 2.1 - Принципиальная схема нагрева раствора гидроксида натрия в кожухотрубном теплообменнике

Так как греющей средой в теплообменнике является пар, а нагреваемой средой раствор щелочи. То в межтрубное пространство направим пар, в трубное щелочь.

### 3 ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ

#### 3.1 Определение поверхности теплообмена

В соответствии с методикой, изложенной в “Глава 4. Теплопередача в химической аппаратуре” [1], производится определение поверхности теплообмена.

##### 3.1.1 Исходные данные

(индекс 1 – греющий пар; 2 – щелочь)

$G_2 = 50 \text{ м}^3/\text{ч}$  - Расход щелочи;

$t_{2Н} = 5 \text{ }^\circ\text{C}$  - Начальная температура щелочи;

$t_{2К} = 40 \text{ }^\circ\text{C}$  - Конечная температура щелочи;

$P_1 = 0,2 \text{ МПа}$  – Рабочее давление пара;

$P_2 = 0,15 \text{ МПа}$  – Рабочее давление щелочи;

Определим температуру насыщения пара в подогревателе по таблицам воды и водяного пара:

$$t_s = 133,5^\circ\text{C}$$

Средний температурный напор:

$$\Delta t_{\text{CP}} = \frac{\Delta t_{\text{Б}} - \Delta t_{\text{М}}}{\ln\left(\frac{\Delta t_{\text{Б}}}{\Delta t_{\text{М}}}\right)} = \frac{128,5 - 93,5}{\ln\left(\frac{128,5}{93,5}\right)} = 110 \text{ }^\circ\text{C},$$

где  $\Delta t_{\text{Б}} = t_s - t_{2Н} = 133,5 - 5 = 128,5 \text{ }^\circ\text{C}$  – больший температурный напор;

$\Delta t_{\text{М}} = t_s - t_{2К} = 133,5 - 40 = 93,5 \text{ }^\circ\text{C}$  – меньший температурный напор.

Средняя температура щелочи:

$$t_{2\text{CP}} = \frac{t_{2Н} + t_{2К}}{2} = \frac{40 + 5}{2} = 22,5^\circ\text{C}.$$

Эти температуры нужны для определения теплофизических свойств веществ, участвующих в процессе.

Выбор значений теплофизических свойств теплоносителей

Из таблиц II-LVII[1] подбираем значения теплофизических свойств теплоносителей при их средних температурах:

$$\rho_1 = f(P_1, t_{1CP}) = 931,8, \text{ кг/м}^3\text{- плотность конденсата};$$

$$\rho_2 = f(t_{2CP}) = 1275, \text{ кг/м}^3\text{-плотность щелочи};$$

$$C_{p2} = f(t_{2CP}) = 3,7 \text{ Дж/(кг*К)} - \text{удельная теплоёмкость щелочи};$$

$\mu_1 = f(P_1) = 2,068 \cdot 10^{-4} \text{ Па*с}$  – коэффициент динамической вязкости сжатого пара;

$\mu_2 = f(P_2, t_{2CP}) = 2,95 \cdot 10^{-3}, \text{ Па*с}$  - коэффициент динамической вязкости щелочи

$\lambda_k = f(P_1) = 0,6849, \text{ Вт/(м*К)}$  - коэффициент теплопроводности конденсата

$\lambda_2 = f(P_1, t_{1CP}) = 0,642, \text{ Вт/(м*К)}$  коэффициент теплопроводности щелочи;

$$Pr_1 = f(P_1, t_{1CP}) = 0,686 - \text{критерий Прандтля для конденсата};$$

$$Pr_2 = \frac{C_2 \cdot \mu_2}{\lambda_2} = \frac{3700 \cdot 2,95 \cdot 10^{-3}}{0,642} = 17 \quad \text{– критерий Прандтля для щелочи.}$$

### 3.1.2 Расчет расходов теплоносителей

Переведем расход щелочи из м<sup>3</sup>/ч в кг/с:

$$G_1 = \frac{G_1 \cdot \rho_1}{3600} = \frac{50 \cdot 1275}{3600} = 17,7 \frac{\text{кг}}{\text{с}}.$$

Рассчитаем тепловую нагрузку (количество теплоты, необходимое для нагрева щелочи) по формуле 3.8[2]:

$$Q = G_2 \cdot C_{p2} \cdot (t_{2K} - t_{1H}) = 17,7 \cdot 3700 \cdot (40 - 5) = 2292,15 \text{ кВт}.$$

Рассчитаем расход пара с учетом потерь 5%

$$G_1 = \frac{Q \cdot 1,05}{r} = \frac{2292,15 \cdot 1,05}{2163} = 1,11 \frac{\text{кг}}{\text{с}},$$

где,  $r=2163$  кДж/кг – теплота парообразования; Предварительный расчет ориентировочной поверхности теплообмена.

Поверхность теплообмена рассчитывается по формуле 1.5 [2]:

$$F = \frac{Q}{K \cdot \Delta t_{cp}}$$

где  $Q$  – тепловая нагрузка, кВт;

$\Delta t_{cp}$  – средняя разность температур, К.

По таблице 4.8 [1] определяем ориентировочные значения коэффициента теплопередачи:

$K_{op} = 100 - 350$  Вт/(м<sup>2</sup>\*К) – ориентировочное значение коэффициента теплопередачи от жидкости к газу в таблице 4.8 [1].

$$K_{min} = 300 \text{ Вт/(м}^2\text{*К)}$$

$$K_{max} = 800 \text{ Вт/(м}^2\text{*К)}$$

Рассчитаем ориентировочные значения требуемой поверхности теплообмена:  $K_{op} = 160$  Вт/(м<sup>2</sup>\*К)

$$F_{min} = \frac{Q}{K_{max} \cdot \Delta t_{cp}} = \frac{2292,15 \cdot 1000}{800 \cdot 110} = 26 \text{ м}^2$$

$$F_{max} = \frac{Q}{K_{min} \cdot \Delta t_{cp}} = \frac{2292,15 \cdot 1000}{300 \cdot 110} = 69 \text{ м}^2$$

Для обеспечения турбулентного режима зададимся числом Рейнольдса равным 12000. Примем диаметр труб теплообмена 25 x 2 мм.

Объёмный расход щелочи [1, стр. 16]:

$$V_2 = \frac{G_2}{\rho_2} = \frac{17,7}{1275} = 0,01388 \frac{\text{м}^3}{\text{с}}.$$

Рассчитаем скорость щелочи в трубках:

$$w_2 = \frac{Re \cdot \mu_2}{d \cdot \rho_2} = \frac{12000 \cdot 2,95 \cdot 10^{-3}}{0,021 \cdot 1275} = 1,32 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

Определим сечение трубок одного хода:

$$S_{TP} = \frac{V_2}{w_2} = \frac{0,01388}{1,32} = 0,0105 \text{ м}^2.$$

Предварительно выбираем стандартный теплообменник типа КН или КК по [25, стр 33] с параметрами:

внутренний диаметр  $D = 600$  мм;

поверхность теплообмена  $F = 55,81$  м<sup>2</sup>;

длина труб  $L = 3000$  мм;

число ходов  $z = 2$ ;

проходное сечение одного хода по трубам  $S_T = 0,0377$  м<sup>2</sup> [25, стр 33];

Объёмный расход щелочи:

$$V_2 = \frac{G_2}{\rho_2} = \frac{17,7}{1275} = 0,0138 \frac{\text{м}^3}{\text{с}}.$$

Определим значение средней скорости потока по уравнению неразрывности потока:

$$w_2 = \frac{V_2}{S_{TP}} = \frac{0,0138}{0,0377} = 0,368 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

где  $S_{.тр} = 0,0377$  м<sup>2</sup> – площадь проходного сечения в трубном пространстве. [25, стр. 33].

### 3.1.3 Коэффициент теплоотдачи щелочи

Определение коэффициента теплоотдачи  $a_2$  для щелочи (трубное пространство).

Определим режим движения в трубном пространстве.

Для этого вычислим значение критерия Рейнольдса [1, стр. 16]:

$$Re_2 = \frac{w_2 \cdot d_{BH} \cdot \rho_2}{\mu_2} = \frac{0,368 \cdot 0,021 \cdot 1275}{2,95 \cdot 10^{-3}} = 3342.$$

где  $\rho_2$  – плотность щелочи, при средней температуре, кг/м<sup>3</sup> [1, стр. 512];



$\mu_2$  – динамическая вязкость щелочи, при средней температуре, Па·с [1, стр. 515];

При  $2300 < Re < 10000$  Критерий Нуссельта составит [1, стр. 17]:

$$Nu_2 = 0,008 \cdot Re_2^{0,8} \cdot Pr_2^{0,43} = 0,008 \cdot (3342)^{0,8} \cdot 17^{0,43} = 17,84.$$

Коэффициент теплопроводности при средней температуре щелочи в трубках:

$$\lambda_2 = f(t_{2CP}) = 0,642 \frac{Вт}{м \cdot К}.$$

Тогда значение коэффициента теплоотдачи,  $\alpha_2$  от охлаждающей щелочи к трубам [1, стр. 150]:

$$\alpha_2 = \frac{Nu_2 \cdot \lambda_2}{d_{BH}} = \frac{17,84 \cdot 0,642}{0,021} = 545,4 \frac{Вт}{м^2 \cdot К}.$$

### 3.1.4 Коэффициент теплоотдачи для пара

Значение коэффициента теплоотдачи,  $\alpha_2$  от пара к трубам:

$$\alpha_1 = 3,78 \cdot \lambda_1^3 \sqrt{\frac{\rho^2 \cdot d \cdot n}{\mu_1 \cdot G_1}} = 3,78 \cdot 0,6849^3 \sqrt{\frac{931,8^2 \cdot 0,02 \cdot 216}{2,068 \cdot 10^{-4} \cdot 1,11}} = 7096 \frac{Вт}{м^2 \cdot К}.$$

Коэффициент теплопередачи определим по формуле [2, стр. 168]:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \sum r_{CT} + \frac{1}{\alpha_2}} = \frac{1}{\frac{1}{7096} + \frac{1}{1456} + \frac{1}{545,4}} = 478,7 \frac{Вт}{м^2 \cdot К}, \quad (3.16)$$

Где следующие обозначения относятся к формулам 3.16, 3.17

$r_1 = 2500$  Вт/(м<sup>2</sup>\*К) – термическое сопротивление загрязнений стенок трубок со стороны щелочи [1, стр. 531];

$r_2 = 5800$  Вт/(м<sup>2</sup>\*К) – термическое сопротивление загрязнений стенок трубок со стороны пара [1, стр. 531];

$\delta = 0,002$  м – толщина стенки трубки;

$\lambda_{CT} = 17,5$  Вт/(м\*К) – теплопроводность материала трубок сталь [1, стр. 529].

Термическое сопротивление стенки определяют по формуле:

$$\sum r_{ст} = \frac{1}{\frac{1}{r_1} + \frac{\delta}{\lambda_{ст}} + \frac{1}{r_2}} = \frac{1}{\frac{1}{2500} + \frac{0,002}{17,5} + \frac{1}{5800}} = 1456 \frac{Вт}{м^2К}. \quad (3.17)$$

Расчетная площадь теплообмена определяется по формуле:

$$F_p = \frac{Q}{K \cdot \Delta t_{ср}} = \frac{2292,15 \cdot 1000}{478,7 \cdot 110} = 43,5 м^2.$$

Определим запас площади поверхности теплообмена:

$$\Delta F_p = \frac{F - F_p}{F_p} \cdot 100\% = \frac{55,81 - 43,5}{43,5} \cdot 100\% = 28,2 \%$$

### 3.2 Расчет гидравлического сопротивления

Расчет ведем по методике, изложенной в [26].

Для оценки гидравлического сопротивления подогревателя принимаем следующие значения коэффициентов местных сопротивлений  $\xi_M$ :

поворот во входной и выходной камерах -  $\xi_{M,ВХ}=3$ ;

вход и выход из трубок в камеру -  $\xi_{ВЫХ} = 2$ ;

Коэффициент сопротивления трения в трубках подогревателя [2, стр.81]:

$$\lambda_{ТР} = 0,1 \cdot \left( 1,46 \cdot \frac{\Delta}{d_{ВН}} + \frac{100}{Re_2} \right)^{0,25} = 0,1 \cdot \left( 1,46 \cdot \frac{0,02}{0,021} + \frac{100}{3342} \right)^{0,25} = 0,108,$$

где  $\Delta = 0,02$  – шероховатость стенок стальных труб.

Гидравлическое сопротивление:

$$\Delta P = \left( \lambda \frac{L}{d} + \sum \xi \right) \frac{w_2^2 \cdot \rho_2}{2} = \left( 0,108 \frac{3000}{0,021} + 5 \right) \frac{0,295^2 \cdot 1275}{2} = 856229 \text{ Па}.$$

### 3.3 Расчет изоляции

Расчет ведем по методике, изложенной в [26].

Исходные данные для расчета тепловой изоляции являются:

Объект, расположен внутри помещения;

$t_{cm} = t_{II}^{cp} = 133,5^{\circ}C$  - температура изолируемой поверхности объекта;

$t_{из} = 45^{\circ}C$  - температура наружной поверхности изоляции [1, стр. 221];

$t_{oc} = t_{окр.с} = 25^{\circ}C$  - температура окружающей среды;

$d_{НАР} = D_B^{КП} + 2 \cdot S_{КОРП} = 0,6 + 2 \cdot 0,008 = 0,616 м$  - наружный диаметр

изолируемого объекта.

3.3.1 Разность температур теплоотдающей поверхности и окружающего воздуха:

$$\Delta t = t_{из} - t_{oc} = 45 - 25 = 20^{\circ}C.$$

3.3.2 Коэффициент теплоотдачи конвекцией при  $\Delta t^3 > 9,8 \cdot 10^{-2}$ :

$$\alpha_k = 1,18 \cdot \sqrt[4]{\frac{\Delta t}{d_{НАР}}} = 1,18 \cdot \sqrt[4]{\frac{20}{0,616}} = 2,81 \text{ Вт} / (\text{м}^2 \cdot \text{К}).$$

3.3.3 Коэффициент теплоотдачи излучением:

$$\alpha_r = \frac{C_1 \cdot \left[ \left( \frac{t_{из} + 273}{100} \right)^4 + \left( \frac{t_{oc} + 273}{100} \right)^4 \right]}{(t_{из} - t_{oc})} = \frac{1,2 \cdot \left[ \left( \frac{45 + 273}{100} \right)^4 + \left( \frac{25 + 273}{100} \right)^4 \right]}{(45 - 25)} =$$
$$= 10,86 \text{ Вт} / (\text{м}^2 \cdot \text{К}),$$

где  $C_1 = 1,2 \text{ Вт} / (\text{м}^2 \cdot \text{К}^4)$  - коэффициент излучения (выбираем покрывной материал - алюминий листовой) [1, табл. 13.2].

3.3.4 Коэффициент теплоотдачи от поверхности изоляции к окружающей среде:

$$\alpha_H = \alpha_k + \alpha_r = 2,81 + 10,86 = 13,67 \text{ Вт} / (\text{м}^2 \cdot \text{К}).$$

3.3.5 Толщина теплоизоляционного слоя, обеспечивающая заданную температуру на поверхности однослойной изоляции:

$$\delta_{из} = \frac{\lambda_{из} \cdot (t_{cm} - t_{из})}{\alpha_H \cdot (t_{из} - t_{oc})} = \frac{0,0476 \cdot (133,5 - 45)}{13,67 \cdot (45 - 25)} = 0,015 м,$$

где  $\lambda_{из} = 0,043 + 0,00022 \cdot t_{oc} = 0,043 + 0,00022 \cdot 25 = 0,0476 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$

коэффициент теплопроводности для теплоизоляционного материала (выбираем материал - минеральная вата марки 75) [1, табл. 13.1];

Принимаем толщину изоляции 40 мм. Определим температуру на поверхности изоляции при этой толщине:

$$t_{из} = \frac{\frac{\lambda_{из}}{\delta_{из}} \cdot t_{cm} + \alpha_H \cdot t_{oc}}{\alpha_H + \frac{\lambda_{из}}{\delta_{из}}} = \frac{\frac{0,0476}{0,04} \cdot 133,5 + 13,67 \cdot 25}{13,67 + \frac{0,0476}{0,04}} = 33,6^\circ \text{C}.$$

Температура поверхности изоляции меньше  $45^\circ\text{C}$ . Условие соблюдается.

## 4 КОНСТРУКТИВНЫЙ РАСЧЁТ АППАРАТА

### 4.1 Расчет штуцеров и подбор фланцев

Штуцеры для подвода и отвода щелочи:

Согласно рекомендациям [2, с.35] примем скорость щелочи в штуцерах  $w_2 = 0,5$  м/с, тогда внутренний диаметр штуцера рассчитывается по формуле 7.2.

$$d_2 = \sqrt{\frac{4 \cdot G_2}{\pi \cdot w_2 \cdot \rho_2}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 17,7}{3,14 \cdot 0,5 \cdot 1275}} = 0,188 \text{ м.}$$

Принимаем условный диаметр штуцера равным 200 мм и подбираем фланец по [20]. На выбранном теплообменнике диаметры штуцера входа составляет 200 мм, диаметр штуцера выхода составляет. Выбираем штуцер типа 1. Оставляем исполнительный размер штуцера подвода и отвода воды.

Исполнительный размер фланца для подвода и отвода щелочи приведен в таблице 4.1.

Таблица 4.1 - Размер фланца для подвода и отвода щелочи

$P_y, \text{МПа}$	$D_y, \text{мм}$	$D_b, \text{мм}$	$D_f, \text{мм}$	$D_b, \text{мм}$	Болты	
					$d_b, \text{мм}$	$z$
0,6	200	222	320	280	M16	8

Штуцеры для подвода пара:

Согласно рекомендациям [2, с.35] примем скорость греющей среды в штуцере  $w_{1ш} = 15$  м/с, тогда внутренний диаметр штуцера рассчитывается по формуле:

$$d_1 = \sqrt{\frac{4 \cdot G_1}{\pi \cdot w_1 \cdot \rho_{II}}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 1,11}{3,14 \cdot 15 \cdot 1,651}} = 0,238 \text{ м,}$$

где,

$$\rho_{II} = f(P = 0,3 \text{ МПа}) = 1,651 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} - \text{плотность сухого насыщенного пара.}$$

На выбранном теплообменнике исполнительный диаметр штуцера входа составляет 300 мм. Его характеристики приведены в таблице 4.2.

Таблица 4.2 - Размер фланца для подвода пара

$P_y, \text{МПа}$	$D_y, \text{мм}$	$D_b, \text{мм}$	$D_f, \text{мм}$	$D_{б}, \text{мм}$	Болты	
					$d_b, \text{мм}$	$z$
0,6	300	327,5	485	460	M20	12

Штуцеры для отвода конденсата:

Согласно рекомендациям [2, с.35] примем скорость греющей среды в штуцере  $w_{1ш} = 0,1-0,3$  м/с, тогда внутренний диаметр штуцера рассчитывается по формуле:

$$d_1 = \sqrt{\frac{4 \cdot G_1}{\pi \cdot w_{1ш} \cdot \rho_1}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 1,11}{3,14 \cdot 0,2 \cdot 931,8}} = 0,087 \text{ м.}$$

Исполнительный диаметр штуцера отвода воздуха составляет 100 мм. Его характеристики приведены в таблице 4.3

Таблица 4.3 - Размер фланца для отвода конденсата

$P_y, \text{МПа}$	$D_y, \text{мм}$	$D_b, \text{мм}$	$D_f, \text{мм}$	$D_{б}, \text{мм}$	Болты	
					$d_b, \text{мм}$	$z$
1	100	116	205	170	M16	8

## 5 МЕХАНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ

Целью механического расчета является обеспечение механической надежности работы кожухотрубчатого теплообменника. Критериями механической надежности для деталей технологического оборудования являются прочность, жесткость, устойчивость, герметичность и др.

Расчетная схема кожухотрубчатого теплообменника представлена на рисунке 5.1.

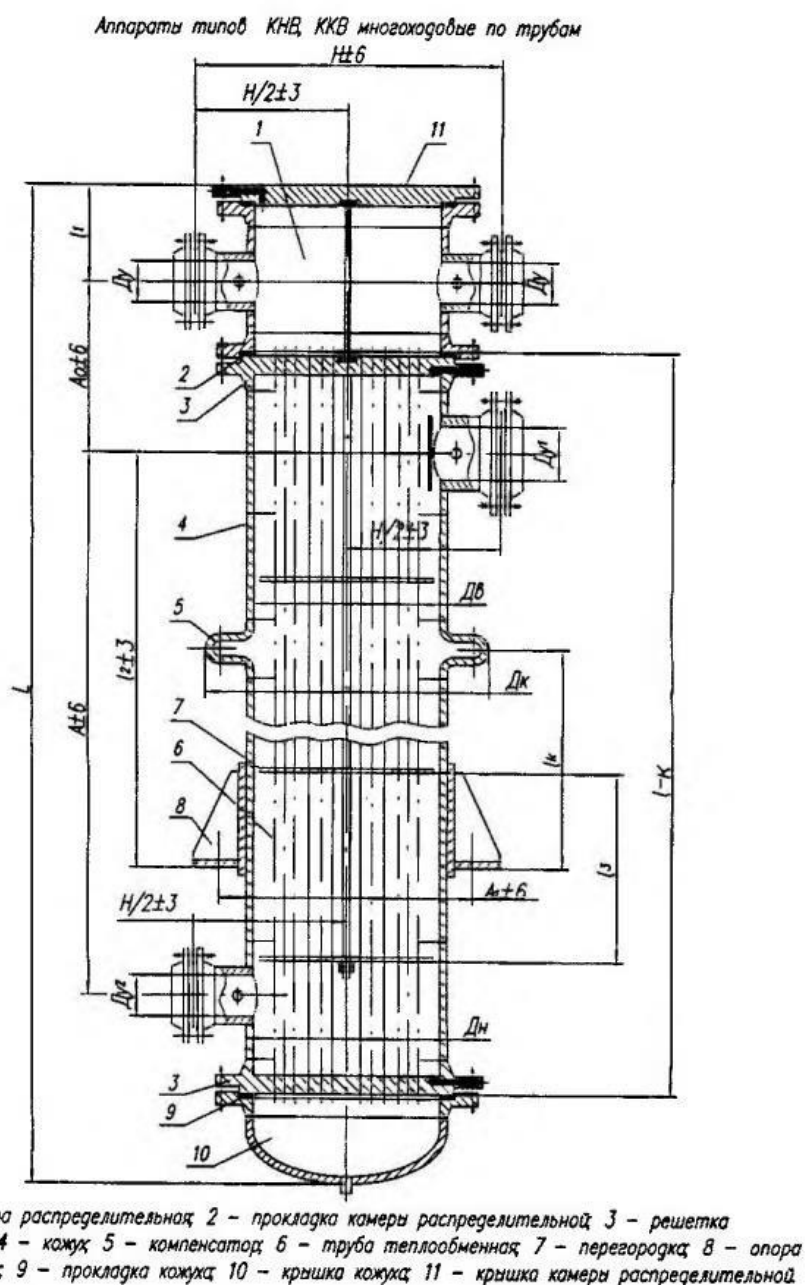


Рисунок 5.1 – Расчетная схема кожухотрубчатого теплообменника

## 5.1 Выбор конструкционных материалов и расчетные параметры

Исходные данные для расчета приведены в таблице 5.1:

Таблица 5.1 - Исходные данные для расчета

Название величины	Введенное обозначение и его значение
Внутренний диаметр обечайки	$D = 600$ мм
Длина обечайки	$L = 3000$ мм
Срок эксплуатации	$\tau = 10$ лет
Расчетная температура теплоносителя в межтрубном пространстве *	$t_{раб1} = 133,5$ °С
Расчетная температура теплоносителя в трубном пространстве *	$t_{раб2} = 40$ °С
Рабочее давление в межтрубном пространстве:	$P1 = 0,2$ МПа
Рабочее давление в трубном пространстве:	$P2 = 0,15$ МПа

За расчетную температуру согласно ГОСТ 34233.1-2017 принимается наибольшая температура среды [7, пункт 5.3]

Выбор конструкционных материалов осуществляем с учетом рабочих температур, агрессивности сред и их концентраций. Поскольку в теплообменнике есть щелочная среда, примем исполнение теплообменника по материалу М10 [6], материалы основных узлов и деталей указаны в таблице 5.2:

Таблица 5.2 – Исполнение теплообменника по материалу

Исполнение по материалу	Кожух	Крышка	Теплообменная труба	Распределительная камера	Трубная решетка
М10	12Х18Н10Т	12Х18Н10Т	12Х18Н10Т	СТ20	12Х18Н10Т

Допускаемое напряжение материала 12Х18Н10Т при температуре 20°С определяем по таблице А.3 [7]:

$$\sigma_{12Х18Н10Т}^{20} = 184 \text{ МПа.}$$

Допускаемое напряжение материала 12Х18Н10Т при расчетной температуре горячего теплоносителя определяем методом интерполяции по данным из таблицы А.1 [7]:

$$\sigma_{12Х18Н10Т}^P = 169 \text{ МПа.}$$



Допускаемое напряжение материала 12Х18Н10Т при расчетной температуре холодного теплоносителя градусов определяем по таблице А.3 [7] методом интерполяции:

$$\sigma_{12Х18Н10Т}^{ХР} = 181 \text{ МПа.}$$

Расчетное давление в межтрубном пространстве согласно [7] должно учитывать избыточное давление, гидростатическое давление среды, поэтому:

$$P_{РАС1} = P_1 + P_{Г.С} = 0,2 + 0,05 = 0,205 \text{ МПа,}$$

Гидростатическое давление среды:

$$P_{Г.С} = \rho \cdot g \cdot h = 1000 \cdot 9,8 \cdot 0,6 = 0,05 \text{ МПа,}$$

где,

$\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$  - плотность воды;

$g = 9,8 \text{ м/с}^2$  - ускорение свободного падения тела;

$h = D = 0,6 \text{ м}$  - высота столба жидкости.

Давление в межтрубном пространстве:

Давление при гидравлических испытаниях определяем по формуле 3.1

[8]:

$$P_{И1} = 1,25 \cdot P_1 \cdot \frac{\sigma_{12Х18Н10Т}^{20}}{\sigma_{12Х18Н10Т}^P} = 1,25 \cdot 0,205 \cdot \frac{184}{169} = 0,279 \text{ МПа.}$$

Давление в трубном пространстве:

Расчетное давление в трубном пространстве при рабочих условиях:

$$P_{РАС2} = P_2 + \rho \cdot g \cdot h = 0,15 + 0,05 = 0,2 \text{ МПа.}$$

Давление при гидравлических испытаниях определяем по формуле 3.1[8]:

$$P_{И2} = 1,25 \cdot P_2 \cdot \frac{\sigma_{12Х18Н10Т}^P}{\sigma_{12Х18Н10Т}^P} = 1,25 \cdot 0,2 \cdot \frac{184}{181} = 0,261 \text{ МПа.}$$

## 5.2 Расчет толщины цилиндрической обечайки

Расчет толщины стенки цилиндрической обечайки ведется согласно [9, 5-5.3.1].

На рисунке 5.2 представлена расчетная схема цилиндрической обечайки, позиция 1 на рисунке 5.1.

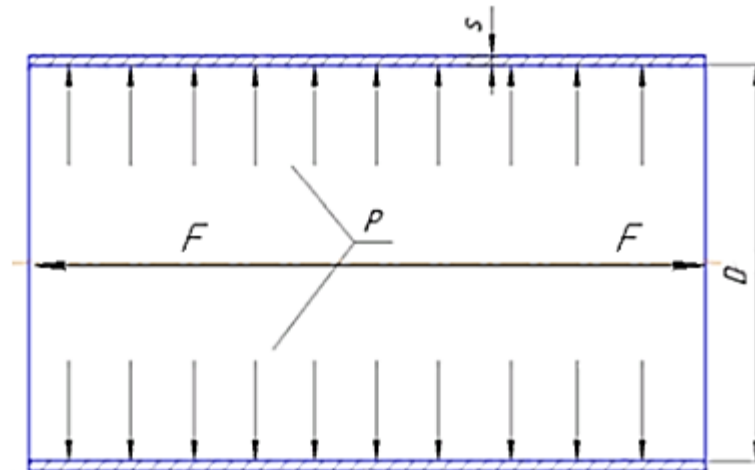


Рисунок 5.2 - Расчетная схема цилиндрической обечайки

Расчетная толщина стенки цилиндрической обечайки при внутреннем избыточном давлении определяется как максимальная величина формул 2 [9]:

Расчетное значение предела текучести для стали 12X18H10T при  $t=20^{\circ}\text{C}$  определяем из таблицы Б.7 [7]:

$$R_{E\Gamma}^{20} = 276 \text{ МПа.}$$

Коэффициент запаса прочности при гидравлическом испытании определяем по таблице 1 [7]:

$$n_T = 1,1 \text{ МПа.}$$

Допускаемое напряжение для стали 12X18H10T при гидравлических испытаниях рассчитываем по формуле 3 [7]:

$$\sigma_{\text{ш}} = \frac{R_{E\Gamma}^{20}}{n_T} = \frac{276}{1,1} = 250,9 \text{ МПа.}$$

Коэффициент прочности сварных швов принимаем согласно [7, таблица Д1] для сварных швов, выполняемых вручную, с одной стороны. Длина контролируемых швов от общей длины составляет 100%:  $\varphi = 0,9$ .

Расчетная толщина стенки при расчетном давлении:

$$s_P = \frac{P_{РАС1} \cdot D}{2 \cdot \sigma_{12X18H10T}^P \cdot \varphi - P_{РАС1}} = \frac{0,205 \cdot 600}{2 \cdot 169 \cdot 0,9 - 0,205} = 0,363 \text{ мм.}$$

Расчетная толщина стенки при гидравлических испытаниях:

$$s_P = \frac{P_{ИП} \cdot D}{2 \cdot \sigma_{ИП}^P \cdot \varphi - P_{ИП}} = \frac{0,279 \cdot 600}{2 \cdot 250,9 \cdot 1 - 0,279} = 0,333 \text{ мм.}$$

Выбранная толщина стенки:

$$s_P = 0,363 \text{ мм.}$$

Прибавку к расчетным толщинам вычисляют по формуле 13 [7]:

$$c = c_1 + c_2 + c_3 = 1 + 0,15 + 0 = 1,15 \text{ мм,}$$

где,

$$c_1 = П \cdot \tau = 0,1 \cdot 10 = 1 \text{ мм} - \text{ поправка на коррозию,}$$

где  $П = 0,1$  мм/год скорость коррозии стали 12Х18Н10Т

$$c_2 = 0,15 \text{ мм} - \text{ поправка на минусовое отклонение;}$$

$c_3 = 0$  мм - поправка на утончение стенки элемента сосуда при технических операциях;

Тогда, с учетом прибавки, исполнительная толщина стенки равна:

$$s_{ИП} = s_P + c = 0,363 + 1,15 = 1,503 \text{ мм.}$$

Согласно рекомендациям таблицы 1 [11] минимальная толщина стенок цилиндрической обечайки при внутреннем диаметре обечайки, равном 600 мм, равна 6 мм. Согласно [10, Таблица 1] при ширине листа 2000 мм и длине листа от 3000 мм до 12000 мм толщина листа составит 8 мм. В связи с этим принимаем исполнительную толщину стенки цилиндрической обечайки:

$$S_K = 8 \text{ мм}$$

По методике [9, с.5] проверим применимость формул безмоментной теории:

$$\frac{s_K - c}{D} = \frac{8 - 1,503}{600} = 0,01 < 0,1.$$

Определим допускаемое давление по формуле [7, стр. 414]:

$$P_D = \frac{2 \cdot \varphi \cdot \sigma_{12X18H10T}^P \cdot (s - c)}{D + (s - c)} = \frac{2 \cdot 0,9 \cdot 169 \cdot (8 - 1,503)}{600 + (8 - 1,503)} = 3,25 \text{ МПа.}$$

Условие  $3,25 > 0,205$  условие выполняется.

### 5.3 Расчет толщины стенки эллиптического днища

Расчет толщины стенки цилиндрической обечайки ведется согласно [9, 6-6.3]. На рисунке 5.3 представлена расчетная схема эллиптического днища, позиция 10 на рисунке 5.1.

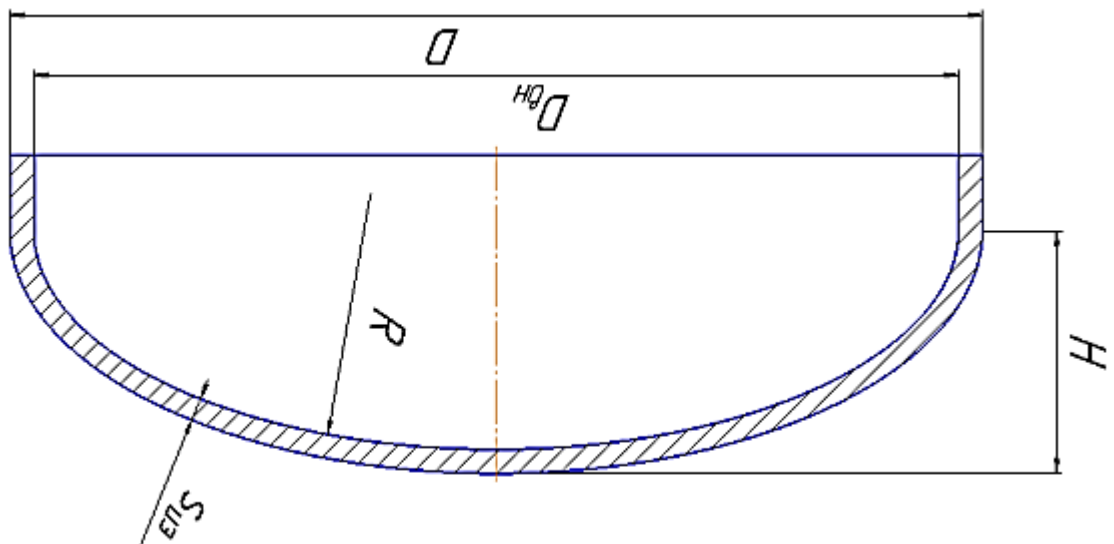


Рисунок 5.3 - Расчетная схема эллиптического днища

Т.к. днище эллиптическое, то высота выпуклой части без учета цилиндрической части будет равна:

$$H = 0,25 \cdot D = 0,25 \cdot 600 = 150 \text{ мм.}$$

Радиус кривизны в вершине днища по внутренней поверхности:

$$R = D = 600 \text{ мм.}$$

Расчёт толщины стенки эллиптического днища производится при давлении гидравлического испытания и при расчетном давлении в трубном пространстве.

Скорость коррозии (12Х18Н10Т):

$$П=0,1 \text{ мм/год.}$$

Срок эксплуатации:

$$\tau=10 \text{ лет}$$

Прибавки к толщине:

$c_1=П*\tau= 0,1*10=1$  мм – поправка на компенсацию коррозии обечайки,

$c_2=0,15$  мм – поправка на минусовое отклонение таблица 4 [10];

$c_3=0,5$  мм – технологическая прибавка в соответствии с рекомендацией [7, стр 8];

$$c = c_1+c_2+c_3=1+0,15+0,5=1,65 \text{ мм,}$$

Расчетная толщина эллиптического днища:

Толщина стенки днища, рассчитанная при расчетном давлении:

$$s_P = \frac{P_{РАС2} \cdot R}{2 \cdot \sigma_{12Х18Н10Т}^{XP} - 0,5 P_{РАС2}} = \frac{0,205 \cdot 600}{2 \cdot 181 - 0,5 \cdot 0,156} = 0,361 \text{ мм.}$$

Толщина стенки днища, рассчитанная при гидравлических испытаниях:

$$s_P = \frac{P_{И2} \cdot R}{2 \cdot \sigma_{И2}^P - 0,5 \cdot P_{И2}} = \frac{0,261 \cdot 600}{2 \cdot 250,9 - 0,5 \cdot 0,198} = 0,333 \text{ мм.}$$

Расчетная толщина днища:

$$s_P=0,361 \text{ мм.}$$

Тогда, с учетом прибавки, исполнительная толщина стенки равна:

$$s_{И}=s_P+c=0,361+1,65=2,015 \text{ мм.}$$

Согласно рекомендациям таблицы 1 [11] минимальная толщина стенок цилиндрической обечайки при внутреннем диаметре днища, равном 600 мм, равна 5 мм.

В связи с этим принимаем исполнительную толщину стенки днища:

$$s_K=8 \text{ мм}$$

По методике [9, с.5] проверим применимость формул безмоментной теории:

$$\frac{s_K - c}{D} = \frac{8 - 1,65}{600} = 0,01 < 0,1.$$

Определим допускаемое давление по формуле [7, стр. 414]:

$$P_d = \frac{2 \cdot \varphi \cdot \sigma_{12X18H10T}^{XP} \cdot (s - c)}{D + (s - c)} = \frac{2 \cdot 1 \cdot 181 \cdot (8 - 1,65)}{600 + (8 - 1,65)} = 3,45 \text{ МПа.}$$

Условие  $3,45 > 0,198$  условие выполняется

Согласно [21] принимаем днище стальное эллиптическое отбортованное с размерами (табл. 5.3):

Таблица 5.3 – Размеры эллиптического днища

D, мм	h1, мм	H, мм	s, мм	F, м2	V, дм3
600	25	157	8	0,45	36,78

#### 5.4 Расчет температурных деформаций

Расчет проводится по методике, изложенной в [5,1.5.2.1]. Расчетные параметры приведены в таблице 5.4:

Таблица 5.4 - Расчетные параметры

Часть аппарата	Трубы	Корпус
Материал	12X18H10T	12X18H10T
Средняя температура, °С	40	133,5
Температурный коэффициент линейного расширения, 1/°С	$16,6 \cdot 10^{-6}$	$17 \cdot 10^{-6}$
Допускаемое напряжение материала, МПа	181	169
Модуль упругости материала, МПа	$1,97 \cdot 10^5$	$1,87 \cdot 10^5$
Наружный диаметр, м	0,025	0,616
Внутренний диаметр, м	0,021	0,600

Поперечное сечение труб и корпуса:

$$F_T = \frac{\pi}{4} \cdot (d_H^2 - d_{BH}^2) \cdot n = \frac{3,14}{4} \cdot (0,025^2 - 0,021^2) \cdot 218 = 0,0314 \text{ м}^2.$$

$$F_K = \frac{\pi}{4} \cdot (D_H^2 - D_{BH}^2) = \frac{3,14}{4} \cdot (0,616^2 - 0,6^2) = 0,0152 \text{ м}^2.$$

Температурные усилия:

$$Q_T = \frac{|\alpha_T \cdot t_T - \alpha_K \cdot t_K| \cdot E_T \cdot F_T \cdot E_K \cdot F_K}{E_T \cdot F_T + E_K \cdot F_K} =$$

$$\frac{|16,6 \cdot 10^{-6} \cdot 22,5 - 17 \cdot 10^{-6} \cdot 133,5| \cdot 1,97 \cdot 10^5 \cdot 0,0314 \cdot 1,87 \cdot 10^5 \cdot 0,0152}{1,97 \cdot 10^5 \cdot 0,0314 + 1,87 \cdot 10^5 \cdot 0,0152} =$$

$$= 2,3 \text{ МН.}$$

Температурные напряжения:

$$\sigma_T = \frac{Q_T}{F_T} = \frac{2,3}{0,0314} = 73,2 \text{ МПа} \quad \sigma_T < 181.$$

$$\sigma_K = \frac{Q_K}{F_K} = \frac{2,3}{0,0152} = 151,3 \text{ МПа} \quad \sigma_K < 169.$$

Условия прочности соблюдаются.

### 5.5 Расчет толщины трубных решеток

Расчет толщины трубной решетки ведется по методике, указанной в пособии [5, 1.5.2.4].

На рисунке 5.4 представлена расчетная схема трубной решетки.

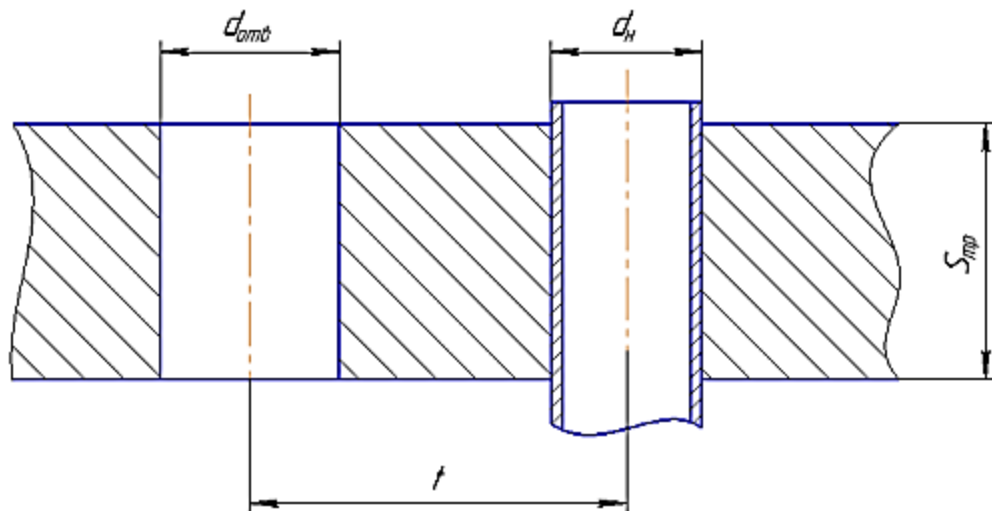


Рисунок 5.4 – Расчетная схема трубной решетки

Коэффициент прочности решетки:

Коэффициент прочности решетки учитывает ослабление сечения решетки трубными отверстиями и зависит от шага  $t$  и диаметра отверстий  $d_{отв}$  по формуле:

$$\varphi_P = \frac{t - d_{отв}}{t} = \frac{32 - 25,7}{32} = 0,197.$$

Определим толщину стенки из условия надежности развальцовки труб:

$$f_m = 4,35 \cdot d_H + 15 = 4,35 \cdot d_H + 15 = 123,75 \text{ мм}^2.$$

$$S_{ТР1} = \frac{f_m}{t - d_{отв}} + c = \frac{123,75}{32 - 25,7} + 2,6 = 22 \text{ мм}.$$

Суммарная нагрузка на площадь трубной решетки:

$$\begin{aligned} Q_P &= P_1 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot D_{ВН}^2 - P_2 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot D_{ВН}^2 + Q_t = \\ &= 0,205 \cdot \frac{3,14}{4} \cdot 600^2 - 0,206 \cdot \frac{3,14}{4} \cdot 600^2 + 1,67 = 1,67 \text{ МН}. \end{aligned}$$

Толщина трубной решетки как плоской заземленной плиты:

Допускаемое напряжение для стали 12Х18Н10Т, из которой изготовлена трубная решетка:

$$\sigma_{дт} = 181 \text{ МПа}.$$

$$S_{ТР2} = \frac{D_{ВН}}{4,7} \sqrt{\frac{P_{пл}}{\sigma_{дт} \cdot \varphi_P}} = \frac{600}{4,7} \sqrt{\frac{0,279}{181 \cdot 0,197}} = 11,3 \text{ мм}.$$

Согласно таблицы 5 [13] минимальная толщина трубной решетки для труб с наружным диаметром 25 мм составляет 31 мм, поэтому принимаем:  $S_{тр} = 31 \text{ мм}$ .

## 5.6 Расчет на прочность и герметичность фланцевых соединений

Расчетная схема фланцевого соединения представлена на рисунке 5.5.



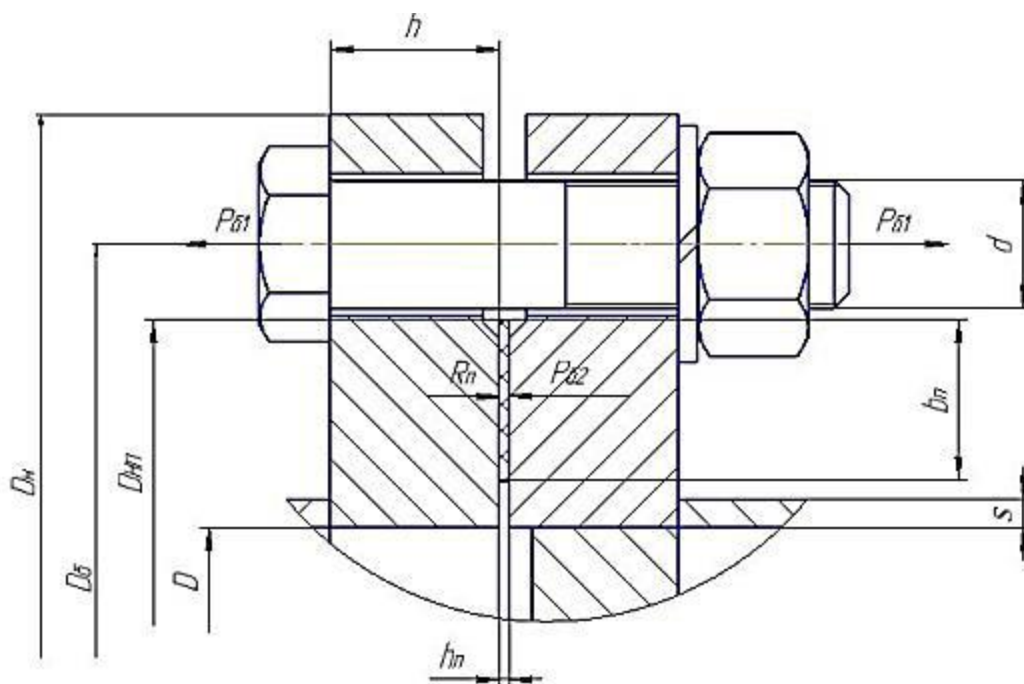


Рисунок 5.5- Расчетная схема фланцевого соединения

Исходные данные для расчета представлены в таблице 5.5.

Таблица 5.5 – Исходные данные для расчета

Название величины	Введенное обозначение и его значение
Внутренний диаметр распределительной камеры, мм	$D = 600$
Пробное давление гидроиспытания в аппарате, МПа	$PИ = 0,261$
Число болтов	$n = 20 \text{ M24}$
Прибавка на коррозию, мм	$c0 = 1$
Максимальная температура среды, °С	$t = 133,5$
Диаметр болтовой окружности, мм	$Dб = 705$
Наружный диаметр прокладки, мм	$Dнп = 677$
Наружный диаметр фланца, мм	$Dн = 755$
Ширина прокладки, мм	$bп = 16$
Высота прокладки, мм	$hп = 2$
Толщина тарелки фланца, мм	$h = 50$
Толщина обечайки, мм	$s = 8$

Целью расчета в данном подразделе является проверка надежности конструкции выбранного фланцевого соединения. К критериям надежности относятся:

- прочность болтов в рабочих условиях и при затяжке;
- статическая прочность соединения при затяжке и в рабочих условиях;

- прочность прокладки;
- соответствия угла поворота фланца допусжаемому значению.

Согласно рекомендациям по табл.21.14 [2] примем:

Материал обечаек и фланцев - сталь 12X18H10T

Материал болтов - сталь 35X

Материал прокладки - паронит ПОН.

### **Определение основных расчетных значений**

Определение расчетных температур:

- расчетная температура неизолированных плоских фланцев по табл. В1 [14]:

$$t_{\phi} = 0,96 \cdot t = 0,96 \cdot 133,5 = 128,1^{\circ}C.$$

- расчетная температура болтов по табл. В1 [14]:

$$t_{Б} = 0,85 \cdot t = 0,85 \cdot 133,5 = 113,5^{\circ}C.$$

Допускаемые напряжения для болтов из стали 35X определяем методом интерполяции по табл. Г1 [14]:

$$\sigma_{ДБ} = 229 \text{ МПа.}$$

Модуль упругости для болтов из стали 35X при расчетной температуре определяем методом интерполяции по табл. Ж1[14]:

$$E_{Б} = 2,14 \cdot 10^5 \text{ МПа.}$$

Допускаемое напряжение для болтов при  $t = 20^{\circ}C$  определяем по таблице Г.1 [14]:

$$\sigma_{20Б} = 230 \text{ МПа.}$$

Модуль упругости для болтов при температуре равной  $20^{\circ}C$  определяем по таблице Ж.1 [14]:

$$E_{20Б} = 2,18 \cdot 10^5 \text{ МПа.}$$

Коэффициент линейного расширения стали 35X при  $t = 20-200^{\circ}C$  определяем по таблице Ж.2 [14]:  $\alpha_6 = 13,3 \cdot 10^{-6} 1/^{\circ}C.$

Допускаемые напряжения для фланцев и обечайки из стали 12X18H10T определяем по таблице А3[2]:

$$\sigma_{\phi} = 170,5 \text{ МПа.}$$

Поскольку фланцы изготавливаются из листового проката  $\eta = 1$ .

$$\sigma_{\text{д.}\phi} = \sigma_{\phi} \cdot \eta = 170,5 \cdot 1 = 170,5 \text{ МПа.}$$

Модуль упругости для фланцев из стали 12X18H10T при расчетной температуре определяем по таблице В.1 [7]:

$$E = 1,94 \cdot 10^5 \text{ МПа.}$$

Допускаемое напряжение для стали 12X18H10T при  $t = 20 \text{ }^{\circ}\text{C}$  определяем по [7]:

$$\sigma_{12X18H10T} = 184 \text{ МПа.}$$

Модуль упругости для стали 12X18H10T при температуре испытания  $20 \text{ }^{\circ}\text{C}$  определяем по [2]:

$$E_{12X18H10T} = 1,98 \cdot 10^5 \text{ МПа.}$$

Коэффициент линейного расширения стали 12X18H10T при  $t = 20 - 200^{\circ}\text{C}$  определяем по таблице Ж.2 [14]:  $\alpha_{\phi} = 16,6 \cdot 10^{-6} \text{ 1/}^{\circ}\text{C}$ .

Примем коэффициент увеличения допускаемых напряжений при затяжке по рекомендациям [14] равным:

$$\xi = 1,2.$$

Коэффициент условий работы примем по рекомендациям [14]:

- для рабочих условий  $K_{\text{у.р.}} = 1$ ;
- для условий испытания  $K_{\text{у.р.и}} = 1,35$ .

По рекомендациям [14] коэффициент условий затяжки при обычной неконтролируемой затяжке принимаем равным  $K_{\text{у.з}} = 1$ .

По рекомендациям [14] коэффициент учета нагрузки от температурных деформаций при расчете фланцев с учетом нагрузки от температурных деформаций принимается равным  $K_{\text{у.т}} = 1,3$ .

Допускаемые напряжения для болтов из стали 35Х при затяжке в рабочих условиях и при расчете на условия испытания рассчитывают по формулам Г3 и Г4 [14] и равны соответственно:

$$\sigma_{ДЕМ} = \xi \cdot K_{y.p.p} \cdot K_{y.z} \cdot K_{y.m} \cdot \sigma_{20Б} = 1,2 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,3 \cdot 230 = 394,7 \text{ МПа},$$

$$\sigma_{ДБР} = \xi \cdot K_{y.p.n} \cdot K_{y.z} \cdot K_{y.m} \cdot \sigma_{20Б} = 1,2 \cdot 1,35 \cdot 1 \cdot 1,3 \cdot 230 = 484,4 \text{ МПа}.$$

Усилия, необходимые для смятия прокладки и обеспечения герметичности фланцевого соединения

По формуле 5 [14] определяется эффективная ширина плоской прокладки:

$$b_0 = 3,8 \cdot \sqrt{b_{\Pi}} = 3,8 \cdot \sqrt{16} = 15,2 \text{ мм}.$$

Расчетный диаметр плоской прокладки определяем по формуле 7 [14]:

$$D_{СП} = D_{НП} - b_0 = 677 - 15,2 = 661,8 \text{ мм}.$$

Характеристики прокладки определяем по таблице И.1 [14] (табл. 5.6):

Таблица 5.6 – Характеристики прокладки

Прокладочный коэффициент (m)	Удельное давление обжатия прокладки, МПа (q <sub>обж</sub> )	Допускаемое удельное давление, МПа (q <sub>d</sub> )	Коэффициент обжатия (К <sub>обж</sub> )	Условный модуль сжатия прокладки, МПа (Е <sub>п</sub> )
2.5	20	130	0.9	0.02·10 <sup>5</sup>

По формуле 8 [14] определяем усилие, необходимое для смятия прокладки при затяжке:

$$P_{ОБЖ} = 0,5 \cdot \pi \cdot D_{СП} \cdot b_0 \cdot q_{ОБЖ} = 0,5 \cdot 3,14 \cdot 661,8 \cdot 15,2 \cdot 20 = 3,95 \cdot 10^4 \text{ Н}.$$

Усилие на прокладке в рабочих условиях, необходимое для обеспечения герметичности фланцевого соединения вычисляется по формуле 9 [14]:

$$R_{\Pi} = 0,5 \cdot \pi \cdot D_{СП} \cdot b_0 \cdot m \cdot P_{И} = 0,5 \cdot 3,14 \cdot 661,8 \cdot 15,2 \cdot 2,5 \cdot 0,261 = 2,06 \cdot 10^4 \text{ Н}.$$

## Усилия в болтах фланцевого соединения при затяжке и в рабочих условиях

Площадь поперечного сечений болтов для М24 определим по таблице Д.1 [14]:

$$f_6 = 324 \text{ мм}^2.$$

Наружный диаметр болта равен  $d=24$  мм.

Суммарная площадь сечения болтов по внутреннему диаметру резьбы или нагруженному сечению наименьшего диаметра определяется по формуле 10 [14]:

$$A_B = n \cdot f_B = 324 \cdot 20 = 6480 \text{ мм}^2.$$

Равнодействующая нагрузка от давления рассчитывается по формуле 11 [14]:

$$Q_D = \frac{\pi}{4} \cdot D_{СП}^2 \cdot P_H = \frac{3,14}{4} \cdot 661,8^2 \cdot 0,261 = 8,978 \cdot 10^4 \text{ Н}.$$

### Податливость прокладки и болтов

Податливость прокладки определяется по формуле К.1 [14]:

$$y_{\Pi} = \frac{h_{\Pi} \cdot K_{ОБЖ}}{E_{\Pi} \cdot \pi \cdot D_{СП} \cdot b_{\Pi}} = \frac{2 \cdot 0,9}{0,02 \cdot 10^5 \cdot 3,14 \cdot 661,8 \cdot 16} = 2,705 \cdot 10^{-8} \frac{\text{мм}}{\text{Н}}.$$

Расстояние между опорными поверхностями гайки и болта принимаем равным:

$$L_{БО} = 72 \text{ мм}.$$

При определении податливости эффективная длина болта определяется по стр.32 [14]:

$$L_B = L_{БО} + 0,28 \cdot d = 100 + 0,28 \cdot 24 = 106,7 \text{ мм}.$$

Податливость болтов определяем по формуле К.2 [14]:

$$y_B = \frac{L_B}{E_{20Б} \cdot A_B} = \frac{106,7}{2,18 \cdot 10^5 \cdot 6480} = 7,555 \cdot 10^{-8} \frac{\text{мм}}{\text{Н}}.$$

## Расчетные параметры и угловая податливость фланцев

По формуле К.3 [14] рассчитывается параметр длины обечайки:

$$l_0 = \sqrt{D \cdot s_K} = \sqrt{600 \cdot 8} = 69,3 \text{ мм.}$$

По формуле К.4 [14] определяется отношение наружного диаметра тарелки фланца к внутреннему диаметру:

$$K = \frac{D_H}{D} = \frac{755}{600} = 1,258.$$

По формулам К.5 - К.8 [14] определяются коэффициенты, зависящие от соотношения размеров тарелки фланца:

$$\beta_T = \frac{K^2 \cdot (1 + 8,55 \cdot \log(K)) - 1}{(1,05 + 1,945 \cdot K^2)(K - 1)} = \frac{1,258^2 \cdot (1 + 8,55 \cdot \log(1,258)) - 1}{(1,05 + 1,945 \cdot 1,258^2)(1,258 - 1)} = 1,813.$$

$$\beta_U = \frac{K^2 \cdot (1 + 8,55 \cdot \log(K)) - 1}{1,36(K^2 - 1)(K - 1)} = \frac{1,4^2 \cdot (1 + 8,55 \cdot \log(1,258)) - 1}{1,36(1,258^2 - 1)(1,258 - 1)} = 9,438.$$

$$\begin{aligned} \beta_T &= \frac{1}{K - 1} \cdot (0,69 + 5,72 \cdot \frac{K^2 \cdot \log(K)}{K^2 - 1}) = \\ &= \frac{1}{1,258 - 1} \cdot (0,69 + 5,72 \cdot \frac{1,258^2 \cdot \log(1,258)}{1,258^2 - 1}) = 8,668. \end{aligned} \quad \beta_Z = \frac{K^2 + 1}{K^2 - 1} = \frac{1,258^2 + 1}{1,258^2 - 1} = 4,428.$$

Коэффициенты для фланцевых соединений с плоскими фланцами определяются по графикам К2-К4 [14]:

$$\beta_F = 0,91 \quad \beta_V = 0,55 \quad f = 1.$$

Коэффициент  $\lambda$  определяется по формуле К.11 [14]:

$$\lambda = \frac{\beta_F \cdot h + l_0}{\beta_T \cdot l_0} + \frac{\beta_V \cdot h^3}{\beta_U \cdot l_0 (s_K)^2} = \frac{0,91 \cdot 50 + 69,3}{1,813 \cdot 69,3} + \frac{0,55 \cdot 50^3}{7,513 \cdot 69,3(8)^2} = 2,557.$$

Угловая податливость фланца при затяжке рассчитывается по формуле К.12 [14]:

$$y_\Phi = \frac{0,91 \cdot \beta_V}{E_{20} \cdot \lambda \cdot l_0 \cdot s_H^2} = \frac{0,91 \cdot 0,55}{1,98 \cdot 10^5 \cdot 2,557 \cdot 69,3 \cdot 8^2} = 2,23 \cdot 10^{-10} \frac{1}{\text{Н} \cdot \text{мм}}.$$

Коэффициент, учитывающий изгиб тарелки фланца между болтами определяется по формуле К.18 [14]:

$$C_F = \max\left(1, \sqrt{\frac{\frac{\pi \cdot D_E}{n}}{2 \cdot d + \frac{6 \cdot h}{m + 0,5}}}\right) = \max\left(1, \sqrt{\frac{3,14 \cdot 705}{20}}{\sqrt{2 \cdot 24 + \frac{6 \cdot 26}{2,5 + 0,5}}}\right) = 1.$$

Приведенный диаметр плоского встык фланца определяется по рекомендациям [14] и равен  $D_{пр} = D$ .

### Плечи действия сил и коэффициенты жесткости

Для плоских фланцев плечо действия усилий в шпильках рассчитывается по формуле Е.1 [14]:

$$b = 0,5 \cdot (D_E - D_{СП}) = 0,5 \cdot (705 - 661,8) = 21,6 \text{ мм.}$$

По формуле Е.5 [14] определяется эквивалентная толщина плоских фланцев:

$$S_э = s_u = 8 \text{ мм.}$$

Для всех типов фланцев по формуле Е.4 [14] определяется плечо усилия от действия давления на фланец:

$$e = 0,5 \cdot (D_{СП} - D - S_э) = 0,5 \cdot (661,8 - 600 - 8) = 26,9 \text{ мм.}$$

Для приварных встык и плоских фланцев коэффициент жесткости фланцевого соединения определяется по формуле Е.8 [14]:

$$\gamma = \frac{1}{y_n + y_b \frac{E_{20Б}}{E_{20}} + 2 \cdot b^2 \cdot y_\phi \cdot \frac{E_{20}}{E}} = \frac{1}{2,705 \cdot 10^{-8} + 7,555 \cdot 10^{-7} \frac{2,18 \cdot 10^5}{2,14 \cdot 10^5} + 2 \cdot 21,6^2 \cdot 2,23 \cdot 10^{-10} \cdot \frac{1,98 \cdot 10^5}{1,94 \cdot 10^5}} = 3,16 \cdot 10^6 \frac{Н}{мм}$$

По формуле Е.11 [14] для плоских фланцев с плоскими прокладками рассчитывается коэффициент жесткости фланцевого соединения, нагруженного внутренним давлением или внешней осевой силой:

$$\alpha = 1 - \frac{y_{II} - 2 \cdot e \cdot y_{\phi} \cdot b}{y_{II} + y_B + 2 \cdot b^2 \cdot y_{\phi}} =$$

$$= 1 - \frac{2,705 \cdot 10^{-8} - 2 \cdot 26,9 \cdot 2,23 \cdot 10^{-10} \cdot 21,6}{2,705 \cdot 10^{-8} + 5,573 \cdot 10^{-8} + 2 \cdot 21,6^2 \cdot 2,23 \cdot 10^{-10}} = 1,747.$$

По формуле 13 [14] рассчитывается нагрузка, вызванная стесненностью температурных деформаций:

$$Q_t = \gamma \cdot (2 \cdot \alpha_{\phi} \cdot h \cdot (t_{\phi} - 20) - 2 \cdot \alpha_B \cdot h \cdot (t_B - 20)) =$$

$$= 3,16 \cdot 10^6 \cdot (2 \cdot 16,6 \cdot 10^{-6} \cdot 50 \cdot (128,16 - 20) -$$

$$- 2 \cdot 13,3 \cdot 10^{-6} \cdot 50 \cdot (113,5 - 20)) = 1,74 \cdot 10^5 \text{ Н.}$$

Расчетная нагрузка на болты при затяжке, необходимая для обеспечения в рабочих условиях давления на прокладку, достаточного для герметизации фланцевого соединения определяется по [14]:

$$P_{B1} = \max \left( \begin{array}{l} \alpha \cdot Q_{II} + R_{II} \\ \alpha \cdot Q_{II} + R_{II} - Q_t \end{array} \right) =$$

$$= \max \left( \begin{array}{l} 1,747 \cdot 8,978 \cdot 10^4 + 2,062 \cdot 10^4 \\ 1,747 \cdot 8,978 \cdot 10^4 + 2,062 \cdot 10^4 - 1,74 \cdot 10^5 \end{array} \right) = 1,775 \cdot 10^5 \text{ Н.}$$

По [14] определяется расчетная нагрузка на болты при затяжке, необходимая для обеспечения обжатия прокладки и минимального начального натяжения болтов:

$$P_{B2} = \max \left( \begin{array}{l} (P_{OBJ}) \\ 0,4 \cdot A_B \cdot \sigma_{20B} \end{array} \right) = \max \left( \begin{array}{l} (3,95 \cdot 10^4) \\ 0,4 \cdot 6480 \cdot 230 = 3,31 \cdot 10^5 \end{array} \right) = 5,962 \cdot 10^5 \text{ Н.}$$

По формуле 17 [14] определяется расчетная нагрузка на болты фланцевых соединений при затяжке фланцевого соединения:

$$P_{BM} = \max \left( \begin{array}{l} P_{B1} \\ P_{B2} \end{array} \right) = \max \left( \begin{array}{l} 1,775 \cdot 10^5 \text{ Н} \\ 5,962 \cdot 10^5 \text{ Н} \end{array} \right) = 5,962 \cdot 10^5 \text{ Н.}$$

По формуле 18 [14] рассчитывается расчетная нагрузка на болты фланцевых соединений в рабочих условиях:

$$P_{BP} = P_{BM} + (1 - \alpha) \cdot Q_{II} + Q_t =$$

$$= 5,962 \cdot 10^5 + (1 - 1,747) \cdot 8,978 \cdot 10^4 + 1,745 \cdot 10^5 = 7,036 \cdot 10^5 \text{ Н.}$$

### Проверка прочности болтов и прокладки

Расчетные напряжения в болтах определяются:



- при затяжке по формуле 19 [14]:

$$\sigma_{Б1} = \frac{P_{БМ}}{A_B} = \frac{5,962 \cdot 10^5}{6480 \cdot 10^{-6}} = 92 \text{ МПа.}$$

- в рабочих условиях по формуле 20 [14]:

$$\sigma_{Б2} = \frac{P_{БР}}{A_B} = \frac{7,036 \cdot 10^5}{6480 \cdot 10^{-6}} = 108,6 \text{ МПа.}$$

Проверка условий прочности болтов при затяжке рабочих условиях по формулам 21,22 [14]:

$$\sigma_{Б1} < \sigma_{ДБМ} \quad 92 < 394,7$$

$$\sigma_{Б2} < \sigma_{ДБР} \quad 108,6 < 484,4$$

Условия прочности выполняются.

Удельное давление на прокладку определяется по [14]:

$$q = \frac{\max(P_{БМ}, P_{БР})}{\pi \cdot D_{СП} \cdot b_{П}} = \frac{5,962 \cdot 10^5}{3,14 \cdot 661,8 \cdot 16 \cdot 10^{-6}} = 17,9$$
$$q < q_d \quad 17,9 < 130$$

### Расчет фланцев на статическую прочность

Расчетный изгибающий момент, действующий на плоский фланец при затяжке, рассчитывается по формуле 24 [14]:

$$M_M = C_F \cdot P_{БМ} \cdot b = 1 \cdot 5,962 \cdot 10^5 \cdot 21,6 = 1,288 \cdot 10^7 \text{ Н} \cdot \text{мм.}$$

Расчетный изгибающий момент, действующий на фланец в рабочих условиях, определяется по формуле 26 [14]:

$$M_F = C_F \cdot \max(P_{БР} \cdot b + (Q_d) \cdot e, Q_d \cdot e) = 1 \cdot \max(7,036 \cdot 10^5 \cdot 21,6 + (8,978 \cdot 10^4) \cdot 26,9, 8,978 \cdot 10^4 \cdot 26,9) = 1,76 \cdot 10^7 \text{ Н} \cdot \text{мм.}$$

Расчетные напряжения во фланце при затяжке

Меридиональное изгибное напряжение в обечайке плоского фланца определяется по формуле 30[14]:

$$\sigma_{ОМ} = \frac{M_M}{\lambda \cdot (s_H - c)^2 \cdot D_{ПР}} = \frac{1,288 \cdot 10^6}{2,557 \cdot (8-1)^2 \cdot 600} = 171 \text{ МПа.}$$

Напряжения в тарелке плоского фланца в условиях затяжки рассчитываются по формулам 31,32 [14]:

- радиальное напряжение:

$$\sigma_{RM} = \frac{1,33 \cdot \beta_F \cdot h + l_0}{\lambda \cdot h^2 \cdot l_0 \cdot D} \cdot M_M = \frac{1,33 \cdot 0,91 \cdot 50 + 69,3}{2,557 \cdot 50^2 \cdot 69,3 \cdot 600} \cdot 1,288 \cdot 10^7 = 6,3 \text{ МПа.}$$

- окружное напряжение:

$$\sigma_{TM} = \frac{\beta_Y \cdot M_M}{h^2 \cdot D} - \beta_Z \cdot \sigma_{RM} = \frac{8,668 \cdot 1,288 \cdot 10^7}{26^2 \cdot 600} - 4,428 \cdot 6,3 = 46,6 \text{ МПа.}$$

Расчетные напряжения во фланце в рабочих условиях

Меридиональные изгибные напряжения для плоских фланцев рассчитываются по формуле 34 [14]:

$$\sigma_{1P} = \frac{M_P}{\lambda \cdot (s_H - c)^2 \cdot D_{1P}} = \frac{1,76 \cdot 10^7}{2,557 \cdot (8-1)^2 \cdot 600} = 204 \text{ МПа.}$$

Меридиональные изгибные напряжения в обечайке плоского фланца рассчитываются по формуле 35 [14]:

$$\sigma_{0P} = \sigma_{1P} = 204 \text{ МПа.}$$

Меридиональные мембранные напряжения в обечайке плоского фланца рассчитываются по формуле 38 [14]:

$$\sigma_{P0MM} = \frac{Q_D}{\pi \cdot (D + s_u) \cdot (s_u - c)} = \frac{8,978 \cdot 10^4}{3,14 \cdot (600 + 8) \cdot (8-1)} = 6,267 \text{ МПа.}$$

Окружные мембранные напряжения от действия давления в обечайке плоского фланца вычисляются по формуле 39 [14]:

$$\sigma_{P0MO} = \frac{P_H \cdot D}{2 \cdot (s_u - c)} = \frac{0,261 \cdot 600}{2 \cdot (8-1)} = 11,18 \text{ МПа.}$$

Определим напряжения в тарелке плоского фланца в рабочих условиях:

- радиальное напряжение по формуле 40 [14]:

$$\sigma_{RP} = \frac{1,33 \cdot \beta_F \cdot h + l_0}{\lambda \cdot h^2 \cdot l_0 \cdot D} \cdot M_P = \frac{1,33 \cdot 0,91 \cdot 50 + 69,3}{0,971 \cdot 50^2 \cdot 69,3 \cdot 600} \cdot 1,76 \cdot 10^6 = 8,6 \text{ МПа.}$$

- окружное напряжение по формуле 41 [14]:

$$\sigma_{Tp} = \frac{\beta_y \cdot M_p}{h^2 \cdot D} - \beta_z \cdot \sigma_{Rp} = \frac{8,668 \cdot 1,76 \cdot 10^7}{50^2 \cdot 600} - 4,428 \cdot 8,6 = 63,6 \text{ МПа.}$$

Проверка условий статической прочности фланцев

При расчете с учетом стесненности температурных деформаций согласно рекомендациям [14] примем:  $K_T = 1.3$ .

Допускаемое значение общих мембранных и изгибных напряжений и допускаемое значение суммарных общих и местных условных упругих мембранных и изгибных напряжений рассчитываем в соответствии с п.8.10 [6].

$$\sigma_{\text{д.м}} = 1,5 \cdot \sigma_{\text{д.ф}} = 170,5 \cdot 1,5 = 255,7 \text{ МПа.}$$

$$\sigma_{\text{д.р}} = 3 \cdot \sigma_{\text{д.ф}} = 170,5 \cdot 3 = 511,5 \text{ МПа.}$$

Для плоских фланцев условия статической прочности вычисляют по формулам 47, 48 [14]:

- в рабочих условиях:

$$\sigma_{p\text{max}} = \max \begin{pmatrix} \sigma_{Op} - \sigma_{pO\text{mm}} + \sigma_{Rp} \\ \sigma_{Op} - \sigma_{pO\text{mm}} + \sigma_{Tp} \\ \sigma_{Op} + \sigma_{pO\text{mm}} \end{pmatrix} = \max \begin{pmatrix} 204 - 6,267 + 8,6 \\ 204 - 6,267 + 63,6 \\ 204 + 6,267 \end{pmatrix} = 261 \text{ МПа.}$$

- при затяжке:

$$\sigma_{z\text{max}} = \max \begin{pmatrix} \sigma_{1,м} + \sigma_{R,м} \\ \sigma_{1,м} + \sigma_{T,м} \end{pmatrix} = \max \begin{pmatrix} 171 + 6,3 \\ 171 + 46,6 \end{pmatrix} = 217,6 \text{ МПа.}$$

Проверка условий в рабочих условиях:

$$\sigma_{p\text{max}} < 1,3 \cdot \sigma_{\text{д.м}} \quad 261 \text{ МПа} < 334,6 \text{ МПа.}$$

Условие выполняется.

**Проверка условий прочности при затяжке:**

$$\sigma_{z\text{max}} < K_T \cdot \sigma_{\text{д.м}} \quad 217,6 \text{ МПа} < 334,6 \text{ МПа.}$$

Условие выполняется

### Проверка углов поворота фланцев

Угол поворота приварного встык фланца рассчитывается по формуле 58 [14]:

$$\Theta = M_p \cdot y_\phi \cdot \frac{E_{20}}{E} = 8,13 \cdot 10^6 \cdot 2,23 \cdot 10^{-10} \cdot \frac{1,98 \cdot 10^5}{1,94 \cdot 10^5} = 0,004 \text{ рад.}$$

Допустимый угол поворота приварного встык фланца определяем по [14] и равен  $\Theta_d = 0.01$  рад.

$$\begin{aligned} \Theta &< \Theta_d \\ 0,004 &< 0,01 \cdot 1,3. \end{aligned}$$

Условие выполняется.

### 5.7 Расчет необходимости укрепления отверстий

Так как теплообменник имеет четыре отверстия под технологические штуцера, то проверку на укрепление отверстия следует производить по самому большому отверстию. В связи с этим проведем проверку на укрепление отверстия под штуцер для входа щелочи условным диаметром 250 мм. Расчет укрепления производится по принципу компенсации изъятого отверстием металла.

На рисунке 5.6 представлена расчетная схема укрепления отверстия.

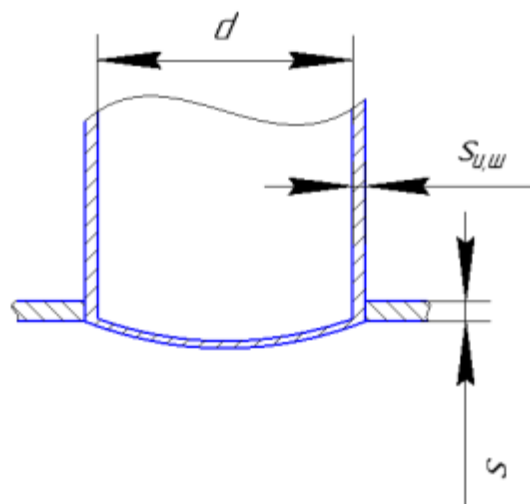


Рисунок 5.6 – Расчетная схема укрепления отверстия

Исходные данные для расчета приведены в таблице 5.7:

Таблица 5.7 – Исходные данные для расчета

Название величины	Введенное обозначение и его значение
Внутренний диаметр аппарата, мм	D = 600
Марка стали 16ГС	
Внутреннее расчетное давление, МПа	P = 0,271
Исполнительна толщина стенки обечайки, мм	s = 8
Прибавка к расчетной толщине стенки, мм	c = 1
Допускаемое напряжение, МПа	$\sigma_d = 181$
Коэффициент прочности сварных швов	$\varphi = 1$
Внутренний диаметр штуцера, мм	d = 200

Основной целью данного расчета является определение максимального диаметра неукрепленного отверстия и сравнение его с расчетным диаметром отверстия, если расчетное значение диаметра превышает предельный диаметр, то данное отверстия подлежит укреплению в целях компенсации возникающих напряжений в зоне отверстия.

Расчетный диаметр отверстия входа выхода щелочи:

$$d_p = d = 209 \text{ мм.}$$

Расчетная толщина стенки штуцера определяется по формуле 16 [23]:

$$s_{p.ш} = \frac{P \cdot (d + 2 \cdot c)}{2 \cdot \varphi \cdot \sigma_{II} - P} = \frac{0,271 \cdot (209 + 2 \cdot 1)}{2 \cdot 1 \cdot 181 - 0,271} = 0,158 \text{ мм.}$$

Расчетный диаметр отверстия входа пара:

$$d_p = d = 325 \text{ мм.}$$

Расчетная толщина стенки штуцера определяется по формуле 16 [23]:

$$s_{p.ш} = \frac{P \cdot (d + 2 \cdot c)}{2 \cdot \varphi \cdot \sigma_{II} - P} = \frac{0,271 \cdot (325 + 2 \cdot 1)}{2 \cdot 1 \cdot 181 - 0,271} = 0,244 \text{ мм.}$$

Расчетный диаметр отверстия выхода конденсата:

$$d_p = d = 109 \text{ мм.}$$

Расчетная толщина стенки штуцера определяется по формуле 16 [23]:

$$s_{p.ш} = \frac{P \cdot (d + 2 \cdot c)}{2 \cdot \varphi \cdot \sigma_{II} - P} = \frac{0,271 \cdot (109 + 2 \cdot 1)}{2 \cdot 1 \cdot 181 - 0,271} = 0,083 \text{ мм.}$$

Расчетный диаметр одиночного отверстия, не требующего укрепления при наличии избыточной толщины стенки, определяется по формуле 26 [23]:

$$d_0 = 2 \cdot \left( \frac{s-c}{s_p} - 0,8 \right) \cdot \sqrt{D \cdot (s-c)} =$$

$$= 2 \cdot \left( \frac{8-2,1}{1,661} - 0,8 \right) \cdot \sqrt{600 \cdot (8-2,1)} = 327 \text{ мм.}$$

Так как диаметр предельного отверстия больше расчетного укрепления отверстий не нужно.

### 5.8 Поверочный расчет

Целью поверочного расчета является обеспечение механической надежности работы теплообменного аппарата по критериям:

- корпус – прочность, устойчивость;
- трубки – прочность, устойчивость и жесткость;
- трубные решетки – прочность и жесткость.

Расчет ведем в соответствии с [15].

Исходные данные для расчета представлены в таблице 5.8.

Таблица 5.8– Исходные данные для поверочного расчета

Внутренний диаметр аппарата, мм;	D = 600
Давление в трубном пространстве, МПа;	P <sub>T</sub> = 0,279
Давление в межтрубном пространстве, МПа;	P <sub>M</sub> = 0,261
Температура трубок, °С	t <sub>T</sub> = 40
Температура кожуха, °С	t <sub>K</sub> = 133,5
Толщина стенки аппарата, мм;	s <sub>1</sub> = 8
Толщина стенки эллиптического днища, мм;	s <sub>2</sub> = 8
Наружный диаметр трубки, мм;	d <sub>T</sub> = 25
Толщина стенки трубки, мм;	s <sub>T</sub> = 2
Толщина трубной решетки, мм;	s <sub>p</sub> = 31
Количество трубок, штук;	N <sub>труб</sub> = 218
Длина трубок, мм;	L = 3000
Шаг между трубками в трубной решетке, мм;	t <sub>p</sub> = 32
Диаметр аппаратного фланца, мм;	D <sub>H</sub> = 755
Наружный диаметр прокладки, мм;	D <sub>п</sub> = 677
Внутренний диаметр прокладки, мм;	d <sub>п</sub> = 645
Высота прокладки, мм;	h <sub>п</sub> = 2
Толщина тарелки фланца, мм;	h <sub>1</sub> = 50

Расчет вспомогательных величин

Внутренний радиус кожуха равен:

$$a = \frac{D}{2} = \frac{600}{2} = 300 \text{ мм.}$$

Согласно [18] расстояние от оси аппарата до оси наиболее удаленной теплообменной трубки для аппарата мм равно:

$$a_1 = \frac{D_B}{2} - \frac{d_H}{2} = \frac{583}{2} - \frac{25}{2} = 279 \text{ мм.}$$

Относительная характеристика бесшовного края трубной решетки вычисляется по формуле 1 [15]:

$$m_n = \frac{a}{a_1} = \frac{300}{279} = 1,075.$$

Коэффициенты влияния давления на трубную решетку рассчитываются по формулам 2 и 3 [15]:

Со стороны межтрубного пространства:

$$\eta_M = 1 - \frac{N_T \cdot d_T^2}{4 \cdot a_1} = 1 - \frac{218 \cdot 25^2}{4 \cdot 279} = 0,562.$$

Со стороны трубного пространства:

$$\eta_T = 1 - \frac{N_T \cdot (d_T - 2 \cdot s_T)^2}{4 \cdot a_1} = 1 - \frac{218 \cdot (25 - 2 \cdot 2)^2}{4 \cdot 279} = 0,691.$$

### **Основные характеристики жесткости элементов теплообменного аппарата**

Определим половину длины теплообменной трубки:

$$l = \frac{L}{2} = \frac{3000}{2} = 1500 \text{ мм.}$$

Модуль упругости для материала 12Х18Н10Т при температуре 40 °С определяется по таблице В1 [7]:  $E_T = 1,97 \cdot 10^5$  МПа.

Модуль упругости основания (системы труб) вычисляется по формуле 4 [15]:

$$K_y = \frac{E_T(\eta_T - \eta_M)}{l} = \frac{1,97 \cdot 10^5 (0,691 - 0,562)}{1500} = 16,9 .$$

Модуль упругости для материала сталь 12Х18Н10Т при температуре 125 °С определяется по таблице В1 [7]:  $E_K = 1,87 \cdot 10^5$  МПа.

Приведенное отношение жесткости труб к жесткости кожуха вычисляют по формуле 5 [15]:

$$\rho = \frac{K_y \cdot a_1 \cdot l}{E_K \cdot s_K} = \frac{1,97 \cdot 10^5 \cdot 279 \cdot 1500}{1,97 \cdot 10^5 \cdot 8} = 4,493 .$$

Коэффициенты изменения жесткости системы трубы-кожух вычисляют по формулам 6 и 7 [15] для аппаратов с неподвижными трубными решетками:

$$K_q = 1 + K_{qq} = 1 + 0 = 1 .$$

$$K_p = 1 + K_{pp} = 1 + 0 = 1 .$$

Коэффициент жесткости трубной решетки определяем по приложению Б [15]:

$$\psi_0 = 0,313 \text{ МПа} .$$

Коэффициент ослабления трубной решетки определяем по приложению Б [15]:

$$\varphi_p = \frac{t - d_{\text{отв}}}{t} = \frac{32 - 25,7}{32} = 0,197 .$$

Коэффициент системы кожух – решетка определяем по приложению В [15]:

$$\beta_1 = \frac{1,3}{\sqrt{a \cdot s_1}} = \frac{1,3}{\sqrt{279 \cdot 12}} = 0,027 \frac{1}{\text{мм}} .$$

Рассчитаем радиус центра тяжести тарелки фланца кожуха:

$$R_1 = \frac{D_H + D}{4} = \frac{755 + 600}{4} = 338,7 \text{ мм} .$$



Коэффициент жесткости втулки фланца кожуха при изгибе определяется по приложению В [15]:

$$K_1 = \frac{\beta_1 \cdot a \cdot E_k \cdot s_1^3}{5,5 \cdot R_1} = \frac{0,027 \cdot 300 \cdot 1,87 \cdot 10^5 \cdot 8^3}{5,5 \cdot 338,7} = 4,091 \cdot 10^5 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Согласно [15] примем  $B_1 = d_n$ ,  $E_1 = E_k$ , тогда коэффициент жесткости фланца при изгибе рассчитывается по приложению В [15]:

$$\begin{aligned} K_{\phi 1} &= \frac{E_1 \cdot h_1^3 \cdot B_1}{12 \cdot R_1^2} + K_1 \left(1 + \frac{\beta_1 \cdot h_1}{2}\right) = \\ &= \frac{1,87 \cdot 10^5 \cdot 50^3 \cdot 645}{12 \cdot 338,7^2} + 4,091 \cdot 10^5 \left(1 + \frac{0,027 \cdot 50}{2}\right) = 2,09 \cdot 10^6 \text{ Н} \cdot \text{мм}. \end{aligned}$$

Коэффициент системы решетка - трубы вычисляются по формуле 8 [15]:

$$\beta = \frac{1,82}{S_{TP}} \sqrt[4]{\frac{K_y \cdot S_{TP}}{\psi_0 \cdot E_T}} = \frac{1,82}{31} \sqrt[4]{\frac{16,9 \cdot 50}{0,313 \cdot 1,97 \cdot 10^5}} = 0,018 \frac{1}{\text{мм}}.$$

Безразмерный параметр системы решетка – трубы рассчитывается по формуле 10 [15]:

$$\omega = \beta \cdot a_1 = 0,018 \cdot 279 = 5,041.$$

Определение усилий в элементах теплообменного аппарата

Определим коэффициенты линейного расширения по таблице Г.1[7]:

$$\begin{aligned} \alpha_k &= 17 \cdot 10^{-6} \frac{1}{^\circ\text{C}}, \\ \alpha_T &= 17 \cdot 10^{-6} \frac{1}{^\circ\text{C}}. \end{aligned}$$

Температуру сборки аппарата примем  $t_0 = 20 \text{ } ^\circ\text{C}$ .

Коэффициент влияния давления на продольную деформацию труб рассчитывается по формуле 12 [15]:

$$m_{CP} = 0,15 \cdot \frac{N_{TPУБ} \cdot (d_H - s_T)^2}{a_1^2} = 0,15 \cdot \frac{218(25-2)^2}{279^2} = 0,222.$$

Приведенное давление вычисляются по формуле:

$$p_0 = p_{11} + p_{22} - p_{33} = 42,06 + 0,952 - 0,722 = 42 \text{ МПа},$$

где,

$$p_{11} = (\alpha_K \cdot (t_K - t_0) - \alpha_T \cdot (t_T - t_0)) \cdot K_y \cdot l = \\ = (17 \cdot 10^{-6} \cdot (133,5 - 20) - 17 \cdot 10^{-6} \cdot (40 - 20)) \cdot 16,9 \cdot 1500 = 42,06 \text{ МПа},$$

$$p_{22} = (\eta_T - 1 + m_{CP} + m_n \cdot (m_n + 0,5 \cdot \rho \cdot K_q)) \cdot p_m = \\ = (0,691 - 1 + 0,222 + 1 \cdot (1,075 + 0,5 \cdot 4,493 \cdot 1)) \cdot 0,261 = 0,955 \text{ МПа},$$

$$p_{22} = (\eta_M - 1 + m_{CP} + m_n \cdot (m_n + 0,3 \cdot \rho \cdot K_q)) \cdot p_m = \\ = (0,691 - 1 + 0,222 + 1 \cdot (1,075 + 0,5 \cdot 4,493 \cdot 1)) \cdot 0,279 = 0,724 \text{ МПа},$$

Приведенное отношение жесткости труб к жесткости фланцевого соединения рассчитывается по формуле 13 [15]:

$$\rho_1 = \frac{K_y \cdot a \cdot a_1}{\beta^2 \cdot K_\phi \cdot R_1} = \frac{16,9 \cdot 300 \cdot 279}{0,018^2 \cdot 2,09 \cdot 10^6 \cdot 338,7} = 6,127.$$

Коэффициенты, учитывающие влияние беструбного края и поддерживающие влияние труб Ф1, Ф2, Ф3, определяют по табл.1 [15]:

$$\Phi_1 = 7,71;$$

$$\Phi_2 = 5,17;$$

$$\Phi_3 = 7,44.$$

Безразмерный параметр t рассчитывается по формуле 17 [15]:

$$t = 1 + 1,4 \cdot \omega \cdot (m_n - 1) = 1 + 1,4 \cdot 5,041 \cdot (1,075 - 1) = 1,655.$$

Значения T1, T2, T3 вычисляются по формулам 14,15,16 [15]:

$$T_1 = \Phi_1 \cdot (m_n + 0,5 \cdot (1 + m_n \cdot t)(t - 1)) = \\ = 7,71 \cdot (1,075 + 0,5 \cdot (1 + 1,075 \cdot 1,655)(1,655 - 1)) = 16,$$

$$T_2 = \Phi_2 \cdot t = 5,17 \cdot 1,655 = 8,557,$$

$$T_3 = \Phi_3 \cdot t = 7,44 \cdot 1,655 = 12,313.$$

Коэффициент влияния давления на изгиб 1-го фланца рассчитывается по формуле 21 [15]:

$$m_1 = \frac{1 + 0,027 \cdot 50}{2 \cdot 0,027^2} = 1200 \text{ мм}^2.$$

Так как фланцы на кожухе одинаковые, примем  $m_1 = m_2$ .

Приведенное давление на фланцы рассчитывается по формуле 20 [15]:

$$\rho_1 = \frac{K_y}{\beta \cdot K_\phi} (m_1 \cdot p_M - m_2 \cdot p_T) =$$

$$= \frac{16,9}{0,018 \cdot 2,09 \cdot 10^6} (1200 \cdot 0,279 - 1200 \cdot 0,261) = 9,678 \cdot 10^{-3} \text{ МПа}.$$

Изгибающий момент и перерезывающую силу, распределенные по краю трубной решетки, рассчитывают по формулам 18 и 19 [15]:

- изгибающий момент:

$$M_n = \left(\frac{a_1}{\beta}\right) \cdot \frac{p_1 \cdot (T_1 + \rho \cdot K_q) - p_0 \cdot T_2}{(T_1 + \rho \cdot K_q)(T_3 + \rho_1) - T_2^2} =$$

$$= \left(\frac{279}{0,018}\right) \cdot \frac{9,678 \cdot 10^{-3} \cdot (16 + 4,493 \cdot 1) - 42,3 \cdot 8,557}{(16 + 4,493 \cdot 1)(8,426 + 6,127) - 8,557^2} = -2,484 \cdot 10^4 \frac{\text{Н} \cdot \text{мм}}{\text{мм}}.$$

-перерезывающая сила:

$$Q_n = a_1 \cdot \frac{p_0 \cdot (T_3 + \rho_1) - p_1 \cdot T_2}{(T_1 + \rho \cdot K_q)(T_3 + \rho_1) - T_2^2} =$$

$$= 279 \cdot \frac{42,3 \cdot (8,426 + 6,127) - 9,678 \cdot 10^{-3} \cdot 8,557}{(16 + 4,493 \cdot 1)(8,426 + 6,127) - 8,557^2} = 521 \frac{\text{Н} \cdot \text{мм}}{\text{мм}}.$$

Изгибающий момент и перерезывающую силу, распределенные по периметру перфорированной зоны решетки, рассчитывают по формулам 23 и 24 [15]:

- изгибающий момент:

$$M_a = M_n + (a - a_1) \cdot Q_n = M_n + (a - a_1) \cdot Q_n =$$

$$= -2,484 \cdot 10^4 + (300 - 279) \cdot 521 = -13900 \frac{\text{Н} \cdot \text{мм}}{\text{мм}}.$$

- перерезывающая сила:

$$Q_a = m_n \cdot Q_n = 1,133 \cdot 525 = 590 \frac{\text{Н} \cdot \text{мм}}{\text{мм}}.$$

Осевую силу, действующую на трубы, определяют по формуле 25 [15]:

$$N_T = \frac{\pi \cdot a_1}{N_{\text{ТРУБ}}} ((\eta_M \cdot p_M - \eta_T \cdot p_T) \cdot a_1 + \Phi_1 \cdot Q_a + \Phi_2 \cdot \beta \cdot M_a) =$$

$$\frac{3,14 \cdot 279}{218} ((0,562 \cdot 0,279 - 0,609 \cdot 0,261) \cdot 279 + 7,71 \cdot 864,7 +$$

$$+ 5,17 \cdot 0,018 \cdot (-8804)) =$$

$$= 13070.$$

Зная максимальный пролет трубы между решеткой и перегородкой  $l_{1R} = 1000$  мм, рассчитаем приведенную длину трубы для расчета прогиба труб и изгибающего момента, действующего на трубу:

$$l_{\text{пр}} = \frac{l_{1R}}{3} = \frac{1000}{3} = 333,3.$$

Момент инерции поперечного сечения трубы рассчитывается по формуле:

$$J_T = \frac{\pi \cdot (d_H^4 - d_{\text{вн}}^4)}{64} = \frac{\pi \cdot (25^4 - 21^4)}{64} = 9623 \text{ мм}^4.$$

Изгибающий момент, действующий на трубы, определяется по формуле 26 [15]:

$$\begin{aligned} M_T &= \frac{E_T \cdot J_T \cdot \beta}{K_y \cdot a_1 \cdot l_{\text{пр}}} (\Phi_2 \cdot Q_a + \Phi_3 \cdot \beta \cdot M_a) = \\ &= \frac{1,97 \cdot 10^5 \cdot 9623 \cdot 0,018}{16,9 \cdot 279 \cdot 333,3} (5,17 \cdot 590 + 7,44 \cdot 0,018 \cdot (-13070)) = \\ &= 25730 \text{ Н} \cdot \text{мм}. \end{aligned}$$

Расчет усилий в кожухе

- усилие, распределенное по периметру кожуха, рассчитывается по формуле 27 [15]:

$$Q_K = \frac{a}{2} \cdot p_m - Q_n = \frac{300}{2} \cdot 0,261 - 763,6 = -481,1 \frac{\text{Н}}{\text{мм}}.$$

- изгибающий момент, распределенный по периметру кожуха, рассчитывается по формуле 28 [15]:

$$\begin{aligned} M_K &= \frac{K_1}{\rho \cdot K_\phi \cdot \beta} \cdot (T_2 \cdot Q_n - T_3 \cdot \beta \cdot M_n) - \frac{p_m}{2 \cdot \beta_1^2} = \\ &= \frac{4,091 \cdot 10^5}{4,493 \cdot 2,09 \cdot 10^6 \cdot 0,018} \cdot (8,557 \cdot 763,6 - 8,426 \cdot 0,018 \cdot (-24840)) - \frac{0,261}{2 \cdot 0,027^2} = \\ &= 1134 \frac{\text{Н} \cdot \text{мм}}{\text{мм}}. \end{aligned}$$

- суммарная осевая сила, действующая на кожух, определяется по формуле 29 [15]:

$$F = \pi \cdot D \cdot Q_K = 3,14 \cdot 600 \cdot (-481,1) = -9,083 \cdot 10^5 \text{ Н}.$$

Проверка устойчивости при сжатии

Допускаемое осевое сжимающее усилие [27]:

$$[F] = \frac{[F]_{II}}{\sqrt{1 + \left(\frac{[F]_{II}}{[F]_E}\right)^2}} = \frac{2,24}{\sqrt{1 + \left(\frac{2,24}{342,8}\right)^2}} = 2,23 \text{ МН},$$

где

$$[F]_{II} = \pi \cdot (D + s - c) \cdot (s - c) \cdot [\sigma^p_{12 \times 18 \times 107}] =$$

$$= 3,14 \cdot (600 + 8 - 1,1) \cdot (8 - 1,1) \cdot 169 = 2,24 \text{ МН}, \quad \text{— допускаемое осевое сжимающее}$$

усилие из условия прочности,

$$[F]_E = \frac{\pi \cdot (D + s - c) \cdot (s - c) \cdot E}{n_y} \left(\frac{\pi}{\lambda}\right) =$$

$$= \frac{3,14 \cdot (600 + 8 - 1,1) \cdot (8 - 1,1) \cdot 1,9 \cdot 10^5}{1,1} \left(\frac{3,14}{7}\right) = 342,8 \text{ МН} \quad \text{— допускаемое осевое}$$

сжимающее усилие при  $l/D < 10$ .

где

$$\lambda = \frac{2,83 \cdot l_{пр}}{D + s - c} = \frac{2,83 \cdot 1500}{600 + 8 - 1,1} = 7$$

Проверяем устойчивость

$$\frac{|F|}{[F]} < 1$$

$$\frac{|-0,908|}{[2,24]} = 0,405 < 1$$

Условие соблюдается.

Расчетные напряжения в элементах конструкции

Принимаем трубную решетку, вваренную во фланец. Расчетная схема приведена на рисунке 5.7.

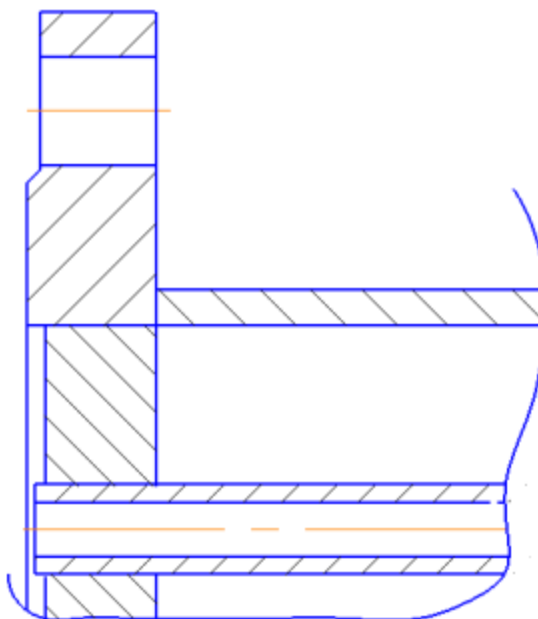


Рисунок 5.7 – Расчетная схема трубной решетки

Ширина тарелки фланца кожуха равна:

$$b_1 = \frac{D_H - D}{2} = \frac{755 - 600}{2} = 77,5 \text{ мм.}$$

Принимаем толщину решетки в зоне кольцевой канавки равной толщине трубной решетки:  $s_{1p} = s_p = 31 \text{ мм.}$

Напряжения в трубной решетке в месте соединения с кожухом рассчитываются по формулам 30 и 31 [15]:

- изгибные напряжения:

$$\sigma_{p1} = \frac{6 \cdot |M_n|}{(s_{1p} - c)^2} = \frac{6 \cdot |-2,484 \cdot 10^4|}{(31 - 2,1)^2} = 178,4 \text{ МПа.}$$

- касательные напряжения:

$$\tau_{p1} = \frac{|Q_n|}{(s_{1p} - c)^2} = \frac{|521|}{(31 - 2,1)^2} = 18 \text{ МПа.}$$

Коэффициент для определения максимального изгибающего момента в перфорированной части трубной решетки рассчитывается по формуле 35 [15]:

$$m_A = \frac{\beta \cdot M_a}{Q_a} = \frac{0,018 \cdot 13900}{590} = -0,426.$$

Коэффициент А определяется по приложению Г [15] в зависимости от  $\omega$  и  $m_A$ :

$$A = 0,453.$$

Так как  $-1 \leq m_A \leq 1$ , то максимальный расчетный изгибающий момент в перфорированной части трубной решетки рассчитывается по формуле 34 [15]:

$$M_{\max} = A \frac{|Q_a|}{\beta} = 0,453 \frac{|590|}{0,018} = 14848 \frac{H \cdot мм}{мм}.$$

Проверка условия прочности на изгибающий момент:

$$\frac{|M_a|}{M_{\max}} = \frac{|-13900|}{14848} = 0,93 < 1$$

Условие прочности выполняется

Напряжения в перфорированной части трубной решетки рассчитываются по формулам 32 и 33 [15]:

- изгибные напряжения:

$$\sigma_{p2} = \frac{6 \cdot M_{\max}}{\varphi_p (s_{1p} - c)^2} = \frac{6 \cdot 12250}{0,197(31 - 2,1)^2} = 447 \text{ МПа}.$$

- касательные напряжения:

$$\tau_{p2} = \frac{|Q_a|}{\varphi_p (s_{1p} - c)} = \frac{|590|}{0,197(31 - 2,1)} = 100 \text{ МПа}.$$

Напряжения в кожухе в меридиональном направлении в месте присоединения к решетке рассчитываются по формулам 38 и 39 [15]:

- мембранные напряжения:

$$\sigma_{Mk} = \frac{|Q_k|}{(s_1 - c)} = \frac{|-481,8|}{(8 - 2,1)} = 68,8 \text{ МПа}.$$

- изгибные напряжения:

$$\sigma_{\text{из}} = \frac{6|M_K|}{(s_1 - c)^2} = \frac{6|6440|}{(8 - 2,1)^2} = 138 \text{ МПа.}$$

Напряжения в кожухе в окружном направлении в месте присоединения к решетке рассчитываются по формулам 40 и 41 [15]:

- мембранные напряжения:

$$\sigma_{M\varphi} = \frac{|p_m| \cdot a}{(s_1 - c)} = \frac{300|0,279|}{(8 - 2,1)^2} = 11,95 \text{ МПа.}$$

- изгибные напряжения:

$$\sigma_{\text{из}\varphi} = 0,3 \cdot \sigma_{\text{из}} = 0,3 \cdot 138 = 41,4 \text{ МПа.}$$

Напряжения в трубах в осевом направлении рассчитываются по формулам 42 и 43 [15]:

$$\sigma_{1m} = \frac{|N_T|}{\pi \cdot (d_m - s_m) s_m} = \frac{|13070|}{3,14 \cdot (25 - 2)^2} = 90,4 \text{ МПа.}$$

- суммарные напряжения:

$$\sigma_{2m} = \frac{(d_T - s_T) \cdot P_m}{2 \cdot s_T} = \frac{(25 - 2) \cdot 0,279}{2 \cdot 25} = 1,604 \text{ МПа.}$$

Проверка прочности трубных решеток

Допускаемое напряжение для материала решетки 12Х18Н10Т при температуре 133,5 °С определяем по таблице А.3 [7]:

$$\sigma_{\text{др}} = 169 \text{ МПа}$$

Проверка условия статической прочности трубных решеток:

$$\frac{\max(\tau_{P1}, \tau_{P2})}{0,8 \cdot \sigma_{\text{др}}} < 1.$$

$$\frac{100}{0,8 \cdot 169} = 0,73 < 1.$$

Условие прочности выполняется

По таблице 2 [15] принимаем допустимую величину прогиба трубной решетки равной  $[W] = 0,7 \text{ мм}$ .



$$W = \frac{1,2}{K_y \cdot a_1} \cdot |T_1 \cdot Q_n + T_2 \cdot \beta \cdot M_n| =$$

$$\frac{1,2}{16,9 \cdot 279} \cdot |15,992 \cdot 521 + 8,557 \cdot 0,018 \cdot (-24840)| = 0,624$$

$$0,624 < 0,7$$

Проверка условия статической прочности труб:

$$\frac{\max(\sigma_{1r}, \sigma_{2r})}{\sigma_{др}} < 1.$$

$$\frac{90,4}{169} = 0,53 < 1.$$

### 5.9 Расчет опор и ушек для вертикального подогревателя

Для обечайки нагруженной опорным узлом, определяют местные допускаемые усилия [F]i. В основу расчета обечаек, нагруженных несущими ушками, опорными лапами или седловыми опорами, положено предельное напряжение изгиба [σ]i, определяемое из условия достижения предельного состояния балки прямоугольного сечения, вырезаемой из обечайки.

Исходные данные для раздела представлены в таблице 5.8

Таблица 5.8 – Исходные данные для раздела

Условный диаметр подогревателя, мм	D=600
Расчетное давление в подогревателе, МПа	P=0,269
Ускорение свободного падения, м/с <sup>2</sup>	g=9,8
Толщина стенки корпуса, мм	S=8
Рабочая температура, 0С	tp=133,5
Плотность воды, кг/м <sup>3</sup>	1000
Плотность материал корпуса и труб (12X1810Т), кг/м <sup>3</sup>	7920
Высота выпуклой части днища	157

Масса обечайки:

$$\begin{aligned} m_{ОБ} &= \left[ \frac{\pi \cdot ((D_{Н}^{КП})^2 - (D_{В}^{КП})^2)}{4} \cdot L \right] \cdot \rho_{ст16с} = \\ &= \left[ \frac{3,14 \cdot ((0,616)^2 - (0,6)^2)}{4} \cdot 3 \right] \cdot 7920 = \\ &= 362,8 \text{ кг}. \end{aligned}$$

Масса трубок:

$$\begin{aligned} m_{туб} &= \left[ N \cdot \frac{\pi \cdot ((d_{Н})^2 - (d_{ВН})^2)}{4} \cdot L \right] \cdot \rho_{ст20} = \\ &= \left[ 218 \cdot \frac{3,14 \cdot ((0,025)^2 - (0,021)^2)}{4} \cdot 3 \right] \cdot 7920 = 748 \text{ кг}. \end{aligned}$$

Масса трубных решеток:

$$\begin{aligned} m_{РЕШ} &= 2 \cdot \frac{\pi}{4} [D_{НАР}^2 - d_n^2 \cdot N] \cdot S_{ТР} \cdot \rho_{ст16ГС} = \\ &= 2 \cdot \frac{3,14}{4} [0,616^2 - 0,025^2 \cdot 218] \cdot 0,031 \cdot 7920 = 93,6 \text{ кг}. \end{aligned}$$

Масса днища:

$$m_{ДН} = s \cdot F \cdot \rho_{16ГС} = 0,008 \cdot 0,45 \cdot 7920 = 28,5 \text{ кг}.$$

Масса крышки:

$$m_{кр} = \frac{\pi \cdot D_{НАР}^2}{4} \cdot s \cdot \rho_{16ГС} = \frac{3,14 \cdot 0,616^2}{4} \cdot 0,008 \cdot 7920 = 18,8 \text{ кг}.$$

Общая масса аппарата составит:

$$\begin{aligned} m_{АП} &= m_{ДН} + m_{ОБ} + m_{ТР} + m_{РЕШ} + m_{кр} = \\ &= 28,5 + 362,8 + 748 + 93,6 + 18,8 = 1251 \text{ кг}. \end{aligned}$$

Масса воды в аппарате составит:

$$m_{ВОД} = \frac{\pi}{4} \cdot D_{ВН}^2 \cdot L \cdot \rho_{В} = \frac{3,14}{4} \cdot 0,6^2 \cdot 3 \cdot 1000 = 847,8 \text{ кг}.$$

Массу вспомогательных устройств примем за 20% от массы аппарата:

$$m_{в.с} = 0,2 \cdot m_{ВОД} = 0,2 \cdot 847,8 = 169 \text{ кг}.$$

Общая нагрузка на опоры:

$$G = (m_{АП} + m_{в.с} + m_{ВОД}) \cdot g = (1251 + 847,8 + 169) \cdot 9,8 = 22224 \text{ Н}.$$

Размеры несущих ушек представлены в таблице 5.9 и на рисунке 5.8

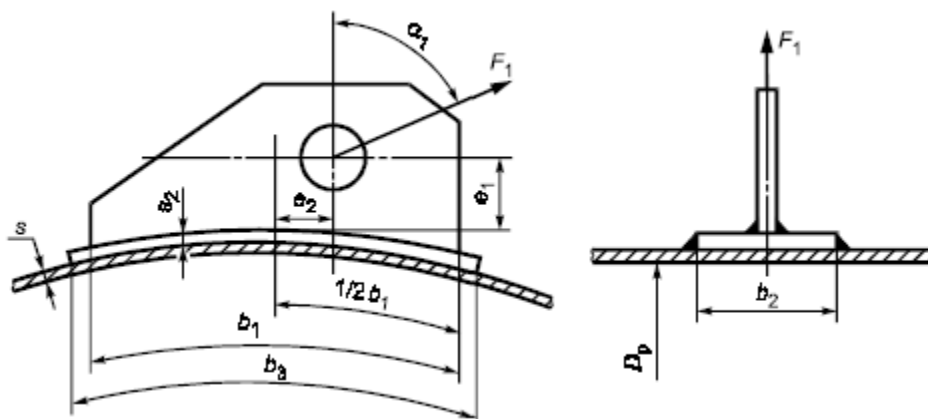


Рисунок 5.8 – Размеры несущих ушек

Таблица 5.9 – Размеры несущих ушек

Название величины	Введенное обозначение и его значение
Длина ушка	$b_0=350$ мм
Длина несущего ушка в основании, мм;	$b_1=200$ мм
Ширина подкладного листа, мм;	$b_2=150$ мм
Длина подкладного листа, мм;	$b_3=120$ мм
Расстояние между точкой приложения усилия и обечайкой или под-кладным листом, мм;	$e_1=350$ мм
Расстояние между осью отверстия и средней линией ушка, мм;	$e_2=250$ мм
Расстояние между осью эллиптического днища и серединой опорного узла, мм	$x=300$ мм
Угол между направлением усилия и вертикалью к стенке обечайки	$\alpha_1=200$

Расчет допускаемых напряжений:

$$\sigma'_d = 169 \text{ МПа.}$$

Так как аппарат изготавливается из листового проката, то допускаемое напряжение составит:

$$\sigma_d = \sigma'_d \cdot \eta = 169 \cdot 1 = 169 \text{ МПа.}$$

Допускаемое напряжение изгиба:

$$\sigma_H = \frac{R_{E20}}{1,1} = 272,5 \text{ МПа.}$$

Допускаемое напряжение для стали при  $t = 20$  °С [7, таблица А3]:

$$\sigma_{20} = 181 \text{ МПа.}$$

Модуль упругости для стали при расчетной температуре:

$$E = 1,87 \cdot 10^5 \text{ МПа.}$$

Модуль упругости для стали при температуре испытания 20 °С:

$$E_{20} = 1,99 \cdot 10^5 \text{ МПа.}$$

Коэффициент прочности продольных сварных швов обечайки определяем при условии, что стыковые швы выполняются автоматической сваркой с двусторонним сплошным проваром при длине контролируемых швов 50 %, по табл. Д.1 ГОСТ 34233-2017.1

$$\varphi_p = 0,9 .$$

При ушках приваренных в продольном направлении коэффициент, представляющий отношение местных мембранных напряжений, к местным напряжением изгиба:

$$\theta_1 = 0,2 .$$

Общее окружное мембранное напряжение в цилиндрической и конической обечайках вычисляют по формуле:

$$\sigma_M = \frac{p \cdot D_p}{2 \cdot (s - c)} = \frac{0,269 \cdot 600}{2 \cdot (8 - 2,1)} = 13,7 \text{ МПа}$$

Коэффициент, учитывающий степень нагрузки общими мембранными напряжениями в рабочих условиях:

$$K_2 = 1,25 .$$

$$\theta_2 = \frac{\sigma_M}{K_2 \cdot \sigma_d \cdot \varphi_p} = \frac{13,7}{1,25 \cdot 169 \cdot 0,9} = 0,072 .$$

$$K_1 = \frac{1 - \theta_2^2}{\left(\frac{1}{3} + \theta_2 \cdot \theta_1\right) + \sqrt{\left(\frac{1}{3} + \theta_2 \cdot \theta_1\right)^2 + (1 - \theta_2^2) \cdot \theta_1}} =$$

$$= \frac{1 - 0,072^2}{\left(\frac{1}{3} + 0,072 \cdot 0,2\right) + \sqrt{\left(\frac{1}{3} + 0,072 \cdot 0,2\right)^2 + (1 - 0,072^2) \cdot 0,2}} = 1,33.$$

Предельное напряжение изгиба вычисляют по формуле, которая ограничивает местные напряжения изгиба в зависимости от местных

мембранных напряжений и степени нагрузки общими мембранными напряжениями:

$$\sigma_{\text{ИЗГИБА}} = K_1 \cdot K_2 \cdot \sigma_d = 1,25 \cdot 1,33 \cdot 169 = 281 \text{ МПа}.$$

Несущие ушки

Усилия  $F_1$  действующие на несущее ушко, определяют по специальным методам расчета. Для симметричного сосуда, закрепленного на двух симметрично расположенных несущих ушках, вычисляют по формуле:

$$F_1 = \frac{G_{\text{АП}}}{2 \cdot \cos(\alpha_1)} = \frac{22224}{2 \cdot \cos(20)} = 11830 \text{ Н}.$$

Проверка несущей способности обечайки, не подкреплённой элементами жесткости.

Коэффициенты  $K_3$  и  $K_4$  определяют по графикам, приведённых на рисунках 5 и 6.

$$\frac{b_0}{D} = \frac{350}{600} = 0,583,$$

$$\frac{D_p}{2 \cdot (s - c)} = \frac{600}{2 \cdot (8 - 2,1)} = 50,847 .$$

$$K_3 = 0,03 \quad K_4 = 0,08$$

Несущая способность обечайки в месте приварки несущего ушка.

$$x' = \frac{2 \cdot 50}{600} = 0,167, \quad z' = \frac{D_p}{2 \cdot (s - c)} = \frac{600}{2 \cdot (8 - 2,1)} = 50,847,$$

$$K_5 = \min(e^{1,0082 - 1,421 \cdot x' + 0,2654 \cdot \ln(z') + 1,11 \cdot \ln(x')} + 1, 2) =$$

$$= \min(e^{1,0082 - 1,421 \cdot 0,167 + 0,2654 \cdot \ln(50,847) + 1,11 \cdot \ln(0,167)} + 1), 2) = 1,91.$$

Усилие, действующее на ушко с подкладным листом:

$$F = \frac{K_5 \cdot \sigma_{\text{ИЗГИБА}} \cdot (s - c)^2}{|6 \cdot K_3 \cdot \cos(\alpha_1)| + \frac{L_2 \cdot (e_1 + e_2)}{b_3} \cdot K_4 \cdot |\sin(\alpha_1) - \frac{e_2 \cdot \cos(\alpha_1)}{e_1 + e_2}|}$$

$$= \frac{1,91 \cdot 281 \cdot (8 - 2,1)^2}{|6 \cdot 0,03 \cdot \cos(20)| + \frac{12 \cdot (350 + 250)}{120} \cdot 0,08 \cdot |\sin(20) - \frac{250 \cdot \cos(20)}{350 + 250}|} = 45870 \text{ Н}.$$

Несущая способность обечайки в месте приварки несущего ушка, должна удовлетворять условию согласно п. 5.4 ГОСТ 34233.5 – 2017:

$$F_1 < F$$

$$5531 < 45870.$$

Условие выполняется.

Опорные лапы

Опорные лапы для вертикальных аппаратов состоят из двух вертикальных косынок и горизонтального основания.

Опорные лапы изготавливают двух типов: тип 1 предназначен для аппаратов без теплоизоляции; тип 2 (с увеличенным вылетом) предназначен для аппаратов с теплоизоляцией.

Приваривают опоры непосредственно к корпусу теплообменника или к накладному листу прямоугольной формы для обеспечения жесткости корпуса в месте присоединения опоры.

Число опорных лап составляет:

– 2 штуки при  $D < 600$  мм, а также при диаметре кожуха 600 или 800 мм и длине трубок не более 2000 мм;

– 4 штуки при диаметре 600 или 800 мм и длине трубок более 2000 мм, а также при диаметре 1000 или 1200 мм и любой длине трубок.

Для подбора опор необходимо определить максимальную массу аппарата, достигаемую при полном заполнении аппарата, которое происходит при гидроиспытаниях водой с плотностью 1000 кг/м<sup>3</sup>.

Исходные данные для расчета приведены в таблице 5.9.

Таблица 5.9 – Исходные данные для расчета

Название величины	Введенное обозначение и его значение
ширина подкладного листа, мм	$b_3'=310$ мм
ширина основной плиты опорной лапы, мм	$b_4=115$ мм
расстояние между средними линиями ребер, мм	$g=90$ мм
высота опорной лапы, мм	$h_1=235$ мм
длина опорной лапы, мм	$l_1=195$ мм

Общий вид опор представлен на рисунке 5.8.

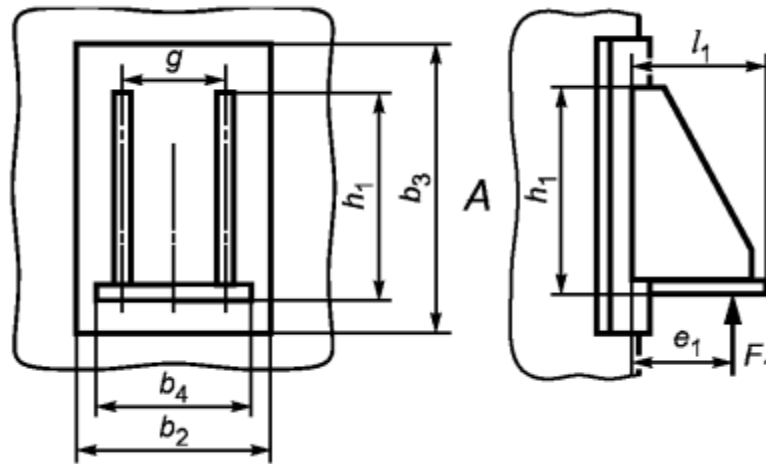


Рисунок 5.8 – Размеры опорных лап

Выбираем опору по ОСТ 26-665-79, 2 го типа с нагрузкой до 10 кН

Выбираем подкладной лист 1-1000-8 ОСТ 26-665-79

Расчет усилия

Определим значение  $e'_1$ :

$$e'_1 = \frac{5}{6} l_1 = \frac{5}{6} 195 = 162,5 \text{ мм.}$$

Так как на подогреватель ставится 4 опоры, то опорное усилие на одну опору составит:

$$F' = \frac{G_{\text{АП}}}{4} = \frac{22224}{4} = 5556 \text{ Н.}$$

Проверка несущей способности обечайки

Значение коэффициентов  $K_7$ ,  $K_8$

$$K_7=0,619 \quad K_8=0,516$$

$$F_{\text{доп}} = \frac{\sigma_{\text{ИЗГИБА}} \cdot b_3 \cdot (s-c)^2}{K_8(e'_1 + s)} = \frac{281 \cdot 120 \cdot (8-2,1)^2}{0,516(162,5+8)} = 13320 \text{ Н.}$$

Проверим условие устойчивости:

$$F' < F_{дон} \cdot (0,5 + \frac{g}{h_1}),$$

$$5556 < 13320 \cdot (0,5 + \frac{90}{235}),$$

$$5556H < 11770H.$$

Условие выполняется.



**ЗАДАНИЕ К РАЗДЕЛУ  
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСООБЪЕКТИВНОСТЬ  
И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Обучающемуся:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
3-4Г81	Джураевой Зилоле Абдурайимовне

<b>Школа</b>		<b>Отделение школы (НОЦ)</b>	
<b>Уровень образования</b>		<b>Направление/ООП/ОПОП</b>	

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

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	412066 руб.
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	Норма расхода химикатов на 1 тонну меди: оксид алюминия – 50 кг, серная кислота – 500 кг, нитрит натрия – 10 кг. Норма расхода электроэнергии на 1 тонну меди: 300 кВт · час. Норма расхода воды на 1 тонну меди: 100 кубических метров.
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	Налог на прибыль организаций – 20%. НДС (налог на добавленную стоимость) – 20% (стандартная ставка). Страховые взносы на обязательное пенсионное и медицинское страхование – нет Отчисления во внебюджетные фонды – 30% Социальные отчисления – 30%

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

1. Расчет стоимости основного оборудования	-
2. Организация заработной платы	-
3. Расчет калькуляции себестоимости	-
4. Расчет технико-экономических показателей	-

**Перечень графического материала:**

1. Затраты на сырье и материалы
2. Таблица 3.2 – Затраты на энергию
3. Таблица 3.3 – Фонд заработной платы станции нейтрализации
4. Таблица 3.4 – Годовой доход от улучшения производственной деятельности
5. Таблица 3.5 – Калькуляция себестоимости работ
6. Таблица 3.6 – Распределение численности рабочих по разрядам
7. Таблица 3.7 – Часовые ставки по разрядам в рублях

<b>Дата выдачи задания к разделу в соответствии с календарным учебным графиком</b>	03.02.2023
--	------------

**Задание выдал консультант по разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
доцент	Верховская М.В.	к.э.н., доцент		03.02.2023

**Задание принял к исполнению обучающийся:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
3-4Г81	Джураева Зилола Абдурайимовна		03.02.2023

## 6 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

### 6.1 Расчет стоимости основного оборудования

С целью определения экономической эффективности мероприятия по внедрению очистки хромсодержащих сточных вод в работе произведены следующие расчеты.

Объем сточных вод, поступающих на очистку на станцию нейтрализации площадки  $750 \text{ м}^3/\text{сут}$ . Количество рабочих дней в году – 250 дней. Работа осуществляется в две смены (продолжительность смены – 7 часов).

Расчет капитальных вложений. Цена оборудования, входящего в систему, находится по формуле:

$$Ц = C_M + C_P + C_K,$$

где – цена оборудования, руб.;

$C_M$  – стоимость материала, руб.;

$C_P$  – стоимость строительно-монтажных работ, руб.;

$C_K$  – стоимость конструктивных особенностей, руб.

Стоимость строительно-монтажных работ находим по формуле [14]

$$C_P = \frac{2}{3} \times C_M,$$

Стоимость конструктивных особенностей аппарата находим по формуле:

$$C_K = \frac{1}{5} \times C_M,$$

1) Рассчитаем стоимость вспомогательного оборудования с применением выше перечисленных формул с учетом формулы

а) Рассчитаем стоимость растворного бака для анионообменной колонны.

Из-за простоты конструкции растворного бака стоимостью конструктивных особенностей можно пренебречь.

Массу растворного бака находим по формуле

$$M_{\bar{6}} = S \times L \times \rho,$$

где  $M_{\bar{6}}$  – масса бака (аппарата), кг;

$S$  – площадь металлического покрытия, м<sup>2</sup>;

$L$  – толщина металлического покрытия, равна 0,004 м;

$\rho$  – плотность стали, равна 7850 м<sup>3</sup>/кг [14]

$$M_{\bar{6}} = 0,004 \times 7850 \times 24 = 754$$

$$C_p = \frac{2}{3} \times 52780 = 35187$$

Получаем цену бака

$$C_{\bar{6}} = 52780 + 35187 = 87967$$

б) Рассчитаем стоимость растворных баков для катионообменных колонн по формулам

$$M_{\bar{6}} = 0,004 \times 7850 \times 29,5 = 926$$

$$C_p = \frac{2}{3} \times 64820 = 43213$$

Получаем цену одного бака

$$C_{\bar{6}} = 64820 + 43213 = 108033$$

Так как используется три бака, то получаем

$$C_{\bar{6}} = 324099$$

Общая стоимость всех баков

$$C_{\text{общ}} = 412066$$

Итого стоимость вспомогательного оборудования: 500033 руб.

Рассчитаем стоимость сорбционного фильтра [14]

$$(D_{\phi} = 0,85 \text{ м}, H_{\phi} = 1,45 \text{ м})$$

Цена металлоконструкции рассчитывается по формулам:

$$C_n = 6510$$

$$C_{..} = 1953$$

В качестве загрузки используется сорбент «Пороласт-Ф», стоимость килограмма которого = 1,25 руб./кг. Плотность сорбента = 800 кг/м<sup>3</sup>. Объем сорбента = 0,19 м<sup>3</sup>.

Стоимость сорбционного фильтра с загрузкой сорбента определим по формуле:

$$C_{\phi} = C_k + C_c,$$

где  $C_k$  – цена металлоконструкции аппарата, руб.;

$C_c$  – цена загруженного сорбента, руб.

$$C_{\phi} = 190 + 18228 = 18418$$

Рассчитаем стоимость электродиализатора по формуле:

$$M_{\text{э.д.}} = 37 \times 0,004 \times 7850 = 1162 \quad C_{\text{д.}} = 54227 \quad C_{..} = 16268$$

Получаем стоимость электродиализатора [15]

$$C_{\text{э.д.}} = 151835$$

Рассчитаем стоимость анионообменной колонны (высота колонны На.к. = 3 м, диаметр колонны Да.к. = 1,2 м).

$$C_{\text{д.}} = 18228$$

$$C_{..} = 5468$$

качестве загрузки колонны используется анионит марки АМ-п, стоимость килограмма анионита = 70 руб./кг, плотность анионита = 1600 кг/м<sup>3</sup>, объем анионита = 2,6 м<sup>3</sup>.

Рассчитаем стоимость анионита по формуле

Найдем стоимость анионообменной колонны с загрузкой анионита по формуле

$$C_{\text{а.к.}} = 51038 + 291200 = 342238$$

Стоимость десорбционной колонны рассчитывается аналогично

$$C_{ок} = 342238$$

Общая стоимость двух колонн

$$C_{общ} = 684476$$

Рассчитаем стоимость катионообменной колонны (высота колонны Нк.к. = 3 м, диаметр Дк.к. = 1.4 м).

Цена металлоконструкции рассчитывается по формулам [15]

$$C_D = 21584$$

$$C_{..} = 6475$$

В качестве загрузки катионообменной колонны используется катионит марки КУ-23Na, стоимость килограмма которого = 50 руб./кг, плотность катионита = 1350 кг/м<sup>3</sup>, объем катионита = 3,2 м<sup>3</sup>.

## 6.2 Организация заработной платы

Найдем стоимость катионообменной колонны с загруженным катионитом по формуле

Всего две колонны

$$C_{общ} = 552864$$

Все контрольно-измерительные приборы, насосы, вентилятор задействованы из существующей схемы.

Общие капитальные вложения составляют. [16]

Расчет эксплуатационных расходов.

1) Затраты на сырье и материалы по данным отдела снабжения завода приведены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Затраты на сырье и материалы

Наименование реагента	Стоимость реагента, руб./кг *	Расход реагента, кг/год*	Затраты на реагент, руб./год *
Серная кислота (H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> )	1,28	268128	343204
Гидроксид натрия (NaOH)	5,65	52000	293800
Хлорид натрия (NaCl)	1,0	39000	39000
Итого	676004		
* Количественные и стоимостные характеристики взяты по данным предприятия			

## 2) Расчет энергозатрат

Электродиализатор расходует 50 кВт\*ч на окисление одного кубометра сточной воды. Объем сточных вод  $Q = 750 \text{ м}^3/\text{сут}$ . В год расходуется:

кВт

Используется два насоса марки 2-НФ, мощностью 1 кВт\*ч (в год работают по 3500 часов каждый), два насоса марки 2К-6А, мощностью 2 кВт\*ч (в год работают по 1750 часов каждый).

Используется один вентилятор марки Ц 4-70 №2, мощностью 3 кВт\*ч, в год работает 1000 часов.

Стоимость 1кВт = 0,277 руб. (заводские данные). [16]

Затраты на энергию (по данным отдела главного энергетика) приведены в таблице 3.2.

Таблица 3.2 – Затраты на энергию

Наименование прибора	Количество, шт.	Количество потребляемой энергии, кВт*ч/год	Затраты на электроэнергию, руб.
Насос марки 2-НФ	2	7000	1939
Насос марки 2К-6А	2	7000	1939
Вентилятор Ц4-70 №2	1	3000	831
Электродиализатор	1	9375000	2596875
Итого	2601584		

### 3) Амортизационные отчисления

Амортизационные отчисления на основное оборудование составляют 10 %. Амортизационные отчисления на иониты составляют 8 %.

Всего амортизационные отчисления составляют: 206724 руб.

### 2) Заработная плата (по данным бухгалтерии завода)

Таблица 3.3 – Фонд заработной платы станции нейтрализации

Численность рабочих, чел.	Фонд заработной платы, руб.	Средняя годовая зарплата одного рабочего
49	340560	6950

5) Отчисления на социальное страхование составляют 30% от фонда заработной платы, то есть 102168 руб.

Эксплуатационные расходы составляют

Расчет ущерба. Под экономическим ущербом понимается сумма затрат на предупреждение вредного воздействия загрязненной среды на реципиентов (население, объекты жилищно-коммунального хозяйства, животные, растения и других).

Экономическая оценка ущерба от сброса сточных вод в городской коллектор составила:

$$U_1 = 201151 \text{ руб. (заводские данные)}$$

Экономическая оценка ущерба от утилизации гальваношламов станции составляет:

$$U_2 = 159232 \text{ руб. (заводские данные)}$$

В процессе осуществления предлагаемой схемы очистки, сброс сточных вод в городскую канализацию не производится, так как очищенная вода поступает на водооборот. По технологии предлагаемой схемы не образуются осадки, которые требуется утилизировать. Поэтому ущерб от внедрения природоохранного мероприятия условно принимаем  $U_3 = 0$  [16].

Таблица 3.4 – Годовой доход от улучшения производственной деятельности

Вид улучшения производственной деятельности	Масса извлекаемого элюата, Gi, кг	Стоимость, Ci, руб./кг	Доход, руб.
Продажа соли меди	3904,7	14,5	56619
Продажа соли никеля	2737,5	16,5	45169
Продажа соли цинка	81098,7	12	973185
Продажа соли хрома	64540,5	37	2387998
Итого	3462971		

В годовой прирост дохода включаем также стоимость 80 % воды, возвращенной в производство (165000 руб.), а также стоимость очистки воды по существующей технологии (1415625 руб.).

Чистый экономический эффект составил.

Определение общей экономической эффективности природоохранных затрат. Под общей (абсолютной) экономической эффективностью природоохранных затрат понимается отношение полного годового эффекта от внедренных природоохранных мероприятий к вызвавшим их затратам.

Определение общей расчетной экономической эффективности капитальных вложений в средозащитные мероприятия. Общая расчетная экономическая эффективность определяется по формуле:

$$E_p = (P - \text{Э}) / K,$$

где P – результат природоохранного мероприятия, руб.;

Э – эксплуатационный затраты, руб.;

K – капитальные затраты, руб.

Общая расчетная экономическая эффективность составила

$$E_p = (5403979 - 4143014) / 1907625 = 0,66$$

### 6.3 Расчет калькуляции себестоимости

Сопоставляем коэффициент с нормативным коэффициентом для решения вопроса эффективности капитальных вложений и целесообразности



природоохранного мероприятия. При больше вариант целесообразен с точки зрения экономических затрат. Можно сделать вывод, что предлагаемая схема очистки хромсодержащих сточных вод завода “Краслесмаш” экономически выгодна.

Определение расчетного срока окупаемости капитальных вложений. Срок окупаемости капитальных вложений рассчитывается по формуле [18]

$$T_p = 1/E_p,$$

где  $T_p$  – срок окупаемости капитальных вложений, год;

$E_p$  – общая расчетная экономическая эффективность капитальных вложений в средозащитные мероприятия.

$$T_p = 1/0,66 = 1,5$$

Произведя выше приведенные расчеты, можно сделать следующий вывод. Очистка хромсодержащих сточных вод гальванического производства завода “Краслесмаш” требует сравнительно небольших капитальных (1907626 руб.) и эксплуатационных затрат (3914099 руб.). Данная технология позволяет предотвратить ущерб окружающей среде в размере 360383 руб. Извлеченные из сточных вод элюаты (растворы солей цинка, никеля, хрома и меди) реализуются в других отраслях промышленности, при этом доход от их продажи составляет 3462971 руб. в год. Эффективность капитальных вложений составляет 0,66 руб./руб. Срок окупаемости составил 1,5 года.

Таким образом, можно сделать вывод о целесообразности и рентабельности данного природоохранного мероприятия. [18]

Составляем сводную калькуляцию себестоимости ремонтных работ (КР, ТР, ТО) на единицу ремонтной сложности (ЕРС), на одну деталь. Статьи затрат калькуляции сведем в таблицу 3.5.

Таблица 3.5 – Калькуляция себестоимости работ

Статьи затрат	Сумма,руб	Годовая программа (ЕРС) или трудозатраты, руб.	На единицу, руб.
Основная и дополнительная заработная плата ремонтных рабочих (ЗПобщ)	53843,8	25	2153,8
Отчисления на социальные нужды (Осн)	15123,13	25	604,9
Ремонтные материалы и запасные части (Зом)	58872	25	2354,88
Расходы на содержание и эксплуатацию оборудования (Робщ)	83863,8	25	3354,6
Цеховые расходы (Цр)	92073	25	3682,9
ИТОГО: полная себестоимость (Сп)	303775,7		12151

Из технологической части проекта принимаем расчет количества ремонтных рабочих в зависимости от трудоемкости ремонтных работ. Распределение численности рабочих сведем в таблицу 3.6.

Таблица 3.6 – Распределение численности рабочих по разрядам

Наименован не профессий	Всего, чел.	1 разряд	2 разряд	3 разряд	4 разряд	5 разряд	6 разряд
1	2	3	4	5	6	7	8
Слесарь по ремонту ТНВД	3	-	-	-	1	2	-
Слесарь по регулировке топливной аппаратуры	3	-	-	-	2	1	-
Подсобный рабочий	1	1	-	-	-	-	-
ИТОГО:	7	1			3	3	

Таблица 3.7 – Часовые ставки по разрядам в рублях

Разряд	1	4	5
Ставка, руб.	25,15	31,35	35,13

#### 6.4 Расчет технико-экономических показателей

Определяем среднюю часовую тарифную ставку, учитывая 4% для вредных условий труда.

$$\text{Ср.ч.т.с.} = (\text{Крр1} \times \text{ЧТСр1} + \text{Крр4} \times \text{ЧТСр4} + \text{Крр5} \times \text{ЧТСр5}) \times 1.04/6$$

$$\text{Ср.ч.т.с.} = (1 \times 3 \times 3) \times 1.04/6 = 30,14 \text{ руб.}$$

Крр1, Крр4, Крр5 – количество рабочих разряда 1,4,5.

ЧТСр1, ЧТСр4, ЧТСр5 – часовая тарифная ставка разряда 1,4,5.

Определяем тарифный фонд.

$$\text{ТФ} = \text{Ср.ч.т.с.} \times \text{Крп} \times \text{Эф} = 30,14 \times 5 \times 2024 = 161818,8 \text{ руб.}$$

Крп – количество рабочих всех разрядов;

Эф – эффективный фонд рабочего времени в год, час.

Определяем размер премии, в зависимости от % к тарифному фонду.

Премия составляет 25%. [18]

$$\text{Прем} = \text{ТФ} \times 25\% = 161818,8 \times 0,25 = 40454,7 \text{ руб.}$$

ТФ – тарифный фонд, руб.

Определяем районный коэффициент, он составляет 15%

$$\text{Рк} = \text{ТФ} \times 0,15 = 161818,8 \times 0,15 = 24272,82 \text{ руб.}$$

Основная заработная плата Осн.ЗП, руб. состоит:

$$\text{Осн.ЗП} = \text{ТФ} + \text{Прем} + \text{Рк} = 161818,8 + 40454,7 + 24272,82 = 226545,62 \text{ руб.}$$

Дополнительная заработная плата – 11% к основной.

$$\text{ДЗП} = \text{Осн.ЗП} \times 0,11 = 226545,62 \times 0,11 = 24920,02 \text{ руб.}$$

ДЗП – дополнительная заработная плата, руб.

Осн.ЗП – основная заработная плата, руб.

Доплаты – 3% к основной.

$$\text{Дп} = \text{Осн.ЗП} \times 3\% = 226545,62 \times 0,03 = 6796,37 \text{ руб.}$$

Итого по статье 1, основная и дополнительная заработная плата составит:

$$\text{ЗПобщ} = \text{ОснЗП} + \text{ДЗП} + \text{Дп} = 226545,62 + 24920,02 + 6796,37 = 258262,01 \text{ руб.}$$

Среднемесячная заработная плата одного ремонтного рабочего составит: [18]

$$\text{СР.ЗП} = \text{ЗПобщ}/\text{Крп} \times 12 = 258262,01/5 \times 12 = 4204,36 \text{ руб.}$$

ЗПобщ – общая заработная плата, руб.

Крп – количество рабочих всех разрядов.

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

<b>Группа</b>		<b>ФИО</b>	
3-4Г81		Джураевой Зилоле Абдурайимовне	
<b>Школа</b>	ИШНПТ	<b>Отделение (НОЦ)</b>	Н.М. Кижнера
<b>Уровень образования</b>	Бакалавриат	<b>Направление/специальность</b>	18.03.01 Химическая технология

Тема ВКР:

<i>Расчет и проектирование основного оборудования установки переработки хвостов медно-обогатительной фабрики</i>	
<b>Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:</b>	
<p><b>Введение</b></p> <p>– Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика) и области его применения.</p> <p>– Описание рабочей зоны (рабочего места) при разработке проектного решения/при эксплуатации</p>	<p><i>Объект исследования:</i> АО «Алмалыкский ГМК»</p> <p><i>Область применения</i> Химическая технология</p> <p><i>Рабочая зона:</i> производственное помещение</p> <p><i>Размеры помещения (климатическая зона*)</i> 50 x 75 м</p> <p><i>Количество и наименование оборудования рабочей зоны:</i> Колонна, Сорбент, Расходомер, Насос, Клапаны, Датчики давления и температуры, Регенерационная система, Контроллер.</p> <p><i>Рабочие процессы, связанные с объектом исследования, осуществляющиеся в рабочей зоне:</i> Загрузка сорбента. Начальная калибровка. Входной поток. Захват целевых компонентов. Изменение направления потока. Регенерация сорбента. Остановка процесса.</p>
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
<p><b>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности при разработке проектного решения:</b></p> <p>– специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства;</p> <p>– организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.</p>	<p>Федеральный закон от 28 декабря 2013 г. № 426-ФЗ "О специальной оценке условий труда" - устанавливает порядок проведения СОУТ и определения категорий работ по условиям труда.</p> <p>Постановление Правительства РФ от 12 марта 2012 г. № 210 "Об утверждении Правил охраны труда при эксплуатации электроустановок" - определяет требования по организации безопасной эксплуатации электроустановок и охране труда работников, задействованных в работе с ними.</p> <p>ГОСТ 12.0.230-2007 "Система стандартов безопасности труда. Системы управления охраной труда. Термины и определения" - содержит термины и определения, используемые в системах управления охраной труда.</p>
<p><b>2. Производственная безопасность при разработке проектного решения</b></p> <p>– Анализ выявленных вредных и опасных производственных факторов</p>	<p><b>Опасные факторы:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Физическое воздействие рабочих материалов;</li> <li>2. Производственные факторы, связанные с чрезмерно высокой температурой материальных объектов производственной среды, могущих вызвать ожоги тканей организма человека;</li> <li>3. Неподвижные режущие, колющие, обдирающие, разрывающие части твёрдых объектов;</li> <li>4. Ударные волны воздушной среды;</li> <li>5. Производственные факторы, связанные с повышенным уровнем химических испарений;</li> </ol>

	<p>6. Производственные факторы, связанные с электрическим током, вызываемым разницей электрических потенциалов, под действие которого попадает работающий</p> <p><b>Вредные факторы:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Повышенный уровень общей вибрации;</li> <li>2. Повышенный уровень локальной вибрации;</li> <li>3. Повышенный уровень шума;</li> <li>4. Отсутствие или недостаток необходимого искусственного освещения;</li> <li>5. Производственные факторы, связанные с аномальными микроклиматическими параметрами воздушной среды на местонахождении работающего;</li> <li>6. Монотонность труда, вызывающая монотонию;</li> <li>7. Длительное сосредоточенное наблюдение.</li> </ol> <p><b>Требуемые средства коллективной и индивидуальной защиты от выявленных факторов:</b> респираторы, защитные очки, защитные перчатки, защитная одежда, защитный костюм, защитная обувь, защитные наушники и беруши, противоударные очки.</p> <p><b>Расчёт:</b> производственная санитария</p>
<p><b>3. Экологическая безопасность при разработке проектного решения</b></p>	<p><b>Воздействие на селитебную зону:</b> радиоактивное заражение территории при аварии</p> <p><b>Воздействие на литосферу:</b> твёрдые химические отходы</p> <p><b>Воздействие на гидросферу:</b> сброс технической воды с содержанием вредных веществ</p> <p><b>Воздействие на атмосферу:</b> выбросы вентиляционных систем, содержащие определённые концентрации химикатов</p>
<p><b>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях при разработке проектного решения</b></p>	<p><b>Возможные ЧС:</b></p> <p>Природные катастрофы (наводнения, цунами, ураган и т.д.);</p> <p>Геологические воздействия (землетрясения, оползни, обвалы, провалы территории и т.д.);</p> <p>Техногенные аварии (отказ систем безопасности, нарушение контроля и управления медным производством, выброс химических веществ, пожар, прогар)</p> <p><b>Наиболее типичная ЧС:</b></p> <p>Прогар формы для хранения расплавленного раскисленного металла</p>
<p><b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b> <span style="float: right;"><b>03.02.2023</b></span></p>	

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ст. преподаватель	Мезенцева Ирина Леонидовна			03.02.2023

**Задание принял к исполнению студент**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-4Г81	Джураева Зилола Абдурайимовна		03.02.2023

## **7 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ**

В последние годы все большее значение приобретают требования мирового сообщества и практически всех государств к социальной стороне деятельности организаций. Это в равной мере относится к организациям всех типов, размеров и форм собственности вне зависимости от их географического размещения, сферы деятельности, культурных и национальных традиций.

В результате многие организации стремятся представить органам власти, контрольным и надзорным органам, общественности и средствам массовой информации документальные свидетельства своего ответственного отношения к социальной стороне собственной деятельности.

Как известно, самым весомым свидетельством выполнения каких-либо требований в интересующей общество области деятельности принято рассматривать соблюдение стандартов, действующих в этой области, особенно, если оно подтверждено через сертификацию.

Объектом рассмотрения раздела является теплообменник подогрева диоксида натрия.

### **7.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности**

В данном подразделе рассматриваются специальные нормы трудового законодательства при проектировании и работы с теплообменником, а также организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.

#### **7.1.1 Специальные правовые нормы трудового законодательства**

Согласно Федеральному закону №426-ФЗ от 28 декабря 2013 года, работы с проектируемым теплообменником относится к категории: Допустимыми условиями труда (2 класс), при которых на работника

воздействуют вредные и (или) опасные производственные факторы, уровни воздействия которых не превышают уровни, установленные нормативами (гигиеническими нормативами) условий труда, а измененное функциональное состояние организма работника восстанавливается во время регламентированного отдыха или к началу следующего рабочего дня (смены).

В соответствии Трудового кодекса РФ (ТК РФ) статьи 92, продолжительность рабочего времени для работников, условия труда на рабочих местах которых по результатам специальной оценки условий труда отнесены к допустимым, - не более 40 часов в неделю.

Все рабочие и служащие, поступающие на работу, подлежат предварительному медицинскому освидетельствованию, а также периодическому медицинскому осмотру (статья 213 ТК РФ). Работники, осуществляющие отдельные виды деятельности, в том числе связанной с источниками повышенной опасности (с влиянием вредных веществ и неблагоприятных производственных факторов), а также работающие в условиях повышенной опасности, проходят обязательное психиатрическое освидетельствование не реже одного раза в пять лет.

### **7.1.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны**

Организация рабочего места представляет собой меры обеспечивающие эффективное использование рабочей силы и оборудования. Главная цель организационных мероприятий, это обеспечение работников высококачественным, эффективным и исправным оборудованием, так же создание комфортных и безопасных условий труда.

Исходя из ГОСТа 22269-79 взаимное расположение элементов рабочего места должно обеспечивать возможность свободного и комфортного передвижения во время работы с учетом налагаемой спецодежды. Так же взаимное расположение элементов рабочего места



должно способствовать оптимальному режиму труда и отдыха, снижению утомления оператора, предупреждению появления ошибочных действий.

Расположение рабочих поверхностей при работе стоя, а так же при работе сидя должны соответствовать требованиям ГОСТ 12.2.003-78 «Система стандартов безопасности труда. Рабочее место при выполнении работ стоя. Общие эргономические требования», ГОСТ 12.2.049-80 «Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Оборудование производственное. Общие эргономические требования».

## 7.2 Производственная безопасность

Опасными производственными факторами при использовании гидроксида натрия являются :

- отравление гидроксидом натрия,
- подвижные части производственного оборудования,
- факторы термического ожога,
- поражение электрическим током.

Опасные факторы и способы защиты представлены в таблице 7.1

Таблица 7.1 – Возможные вредные и опасные факторы при разработке, монтаже и эксплуатации теплообменника

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ			Нормативная документация
	Разработка	Изготовление	Эксплуатация	
1.Повышенный уровень шума на рабочем месте	-	+	+	ГОСТ 12.0.003-2015 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Опасные и вредные производственные факторы.[6]
2.Отсутствие или недостаток естественного света	+	+	+	ГОСТ 12.0.003-2015 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Опасные и вредные производственные факторы[6] СНиП 23-05- 095 Естественное и искусственное освещение: нормативно– технический материал [7]
3.Повышенный уровень вибрации	-	-	+	ГОСТ 26568-85 Вибрация. Метод и средства защиты. Классификация [8]

4. Работа с оборудованием находящимся под давлением	-	+	+	ТР ТС 032/2013 Технический регламент «О безопасности оборудования, работающего под избыточным давлением»[9]
5. Электробезопасность	+	+	+	Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты. ГОСТ Р 12.1.019-2017 ССБТ [10]
6. Пожаробезопасность	+	+	+	Пожарная безопасность. Общие требования (с Изменением N 1). ГОСТ 12.1.004-91 ССБТ[11].

В производстве существует опасность накопления зарядов статического электричества на всех стадиях.

Опасности, связанные с применением токсичных веществ представлены в таблице 7.2.

Таблица 7.2 – Токсические свойства применяемых и образующихся веществ

Наименование вещества	Агрегатное состояние	Класс опасности	ПДК, мг/м <sup>3</sup>	Характер воздействия на организм
1. Натр едкий технический (44% раствор)	Синеватая жидкость	2	0,5	Являясь едкой щелочью, едкий натр при попадании на кожу или в глаза способен вызвать тяжелый химический ожог. При хроническом поражении вызывает экзему. Особенно опасно, когда химические ожоги сопровождаются термическими. Попадание в глаза ведет к поражению роговицы, но вследствие быстрого проникновения щелочи вглубь страдают и глубокие части глаза, что может привести к частичной или полной слепоте.

На все вентиляционные короба и вентиляторы заземление, согласно проекта стальной полосой, а гибкие связи – стальным тросом.

По молнезащитным мероприятиям корпус относится к 3 категории согласно РД 34.21.122-87.

Для защиты от прямых ударов молний используется молниеприемная сетка с шагом ячеек 12 x12 м.

## 7.2.1 Производственная санитария

Для обеспечения нормальных метеорологических условий, обеспечивающих ощущение теплового комфорта и высокой работоспособности персонала, на производстве предусмотрены мероприятия:

- все тяжелые и трудоемкие работы, выполнение которых сопровождается избыточным выделением тепла, механизированы и автоматизированы;

- аппараты работающие при высоких температурах и горячие трубопроводы снабжены теплоизоляцией; температура наружных стенок не превышает 45°C;

- для поддержания необходимого водно-солевого баланса организма все работники цеха в летнее время обеспечены подсоленной газированной водой из сатуратора, а в зимний период года – кипяченной водой.

Исходя из этого, осуществляется нормирование (ГОСТ 12.1.005-88 Общие санитарно - гигиенические требования к воздуху рабочей зоны).

Таблица 7.3 - Оптимальные и допустимые значения микроклимата в рабочей зоне

Характеристика помещения	Категория работы	Период года	Температура воздуха, °С		Относительная влажность, %		Скорость движ. воздуха, м/с	
			Опт.	Доп.	Опт.	Доп.	Опт.	Доп.
Производственное помещение	Средней тяжести	теплый	20 - 23	не > 28	60-40	не > 75	0,2 - 0,5	0,3 - 0,7
		холодный	17 - 19	15 - 20	60-30	не > 75	≤ 0,3	≤ 0,5

Обеспечение нормального микроклимата в рабочей зоне и чистоты воздуха на рабочих местах в значительной степени зависит от правильно организованной системы вентиляции.

## 7.2.2 Освещение

Правильное и достаточное освещение помещений и рабочих мест - один из важнейших элементов благоприятных условий труда. При правильном освещении повышается производительность труда, улучшается безопасность, снижается утомляемость.

Естественное освещение является наиболее гигиеничным и предусматривается, как правило, для помещений, в которых постоянно работают люди.

## 7.2.3 Производственные шумы

Допустимые уровни шума по ГОСТ 12.1.003-83

Таблица 7.4 – Уровни шума

Рабочее место	Уровни звукового давления, дБ, в октановых полосах со среднегеометрическими частотами, Гц								Уровни звука и эквивалентные уровни звука, дБА
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Насосная	83	74	68	63	60	57	55	54	65

Для защиты от шума могут применяться следующие основные методы:

- 1) технические устранение причин шумообразования или ослабление его в источнике возникновения;
- 2) планировочные снижение уровня шума по пути его распространения;
- 3) организационные или административные.

## 7.2.4 Пожаробезопасность

Производство относится к категории Б. В связи с этим основные несущие строительные конструкции здания (каркас, перекрытие) выполнены из негорюемых железобетонных и металлических оштукатуренных конструкций, соответствующих 2-й степени огнестойкости здания.

В проекте применены приборы пневматической системы ГСП. Датчики с электрическим выходом не имеют собственного источника питания. Кабели и проводка имеют несгораемую обмотку. Электрические проводки защищены от механических повреждений металлической трубкой. Для обеспечения безопасности обслуживающего персонала, все электроприемники занулены четвертой жилой питающих кабелей.

Внутреннее пожаротушение осуществляется через пожарные краны, установленные в корпусе на сетях хоз. пожарного трубопровода. Наружное пожаротушение предусмотрено через пожарные гидранты, установленные в колодцах. Подъезд пожарных машин обеспечен в любое время года ко всем установкам цеха.

Трубы для системы пожарного водоснабжения приняты стальные электросварные по ГОСТ 10704-76. В корпусе устанавливаются ручные пожарные извещатели типа ИПР как на внутренних, так на наружных стенах. Сигналы от пожарных извещателей поступают на устройство УОТС – М. При срабатывании пожарной сигнализации устройство УОТС – М включает выносные световые и звуковые оповещатели.

### **7.3 Экологическая безопасность**

Первостепенной задачей является разработка безотходных производств, дающих минимальное количество выбросов в атмосферу и сточных вод, а также внедрение замкнутых водооборотных циклов.

Для снижения отрицательного воздействия вредных веществ на окружающую среду на установке нагрева гидроксида натрия предусмотрены следующие природоохранные мероприятия:

- периодически, по мере накопления, химзагрязненные стоки откачиваются в канализационные колодцы, откуда, совместно с химзагрязненными стоками других производств предприятия, по действующей схеме направляются на очистные сооружения предприятия;

- хозяйственные сточные воды по существующей канализационной системе выводятся в цех очистки сточных вод, где усредняются и передаются на БОС ".

Твердые бытовые отходы собираются в полиэтиленовые мешки и вывозятся на свалку вместе со строительными отходами. Порядок вывоза отходов осуществляется в соответствии с общезаводской инструкцией «О порядке сбора, складирования, транспортировки и организации учета отходов».

#### **7.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях**

В процессе эксплуатации производства возможно возникновение производственных неполадок и аварийных ситуаций. В этом случае осуществляются мероприятия по предупреждению и локализации аварийных ситуаций. Возникновение аварийных ситуаций возможно по следующим причинам:

- прекращение подачи энергетических средств (энергии, теплоэнергии, охлаждающей воды, рассола, воздуха);
- возникновение пожара в производственных корпусах;
- разгерметизация трубопроводов. Необходимо перекрыть вентиль подачи, снизить температуру в реакторах и подать инертный газ – азот. Отглушить участок разгерметизированного трубопровода; выявить причины и устранить неисправность;

В случае возникновения аварийной ситуации производится аварийная остановка производства, вызывается аварийно – спасательная служба, осуществляются неотложные работы по оказанию первой медицинской помощи пострадавшим, локализация и устранение аварийных повреждений, ликвидация источников химической опасности.



При выполнении раздела «Социальная ответственность» были рассмотрены основные опасные и вредные производственные факторы процесса нагрева гидроксида натрия, определены ПДК вредных веществ.

Был произведен расчет вентиляции, проведен анализ пожарной безопасности проектируемого объекта.

Для снижения отрицательного воздействия вредных веществ на окружающую среду на установке нагрева гидроксида натрия предусмотрены природоохранные мероприятия.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Мировое потребление цветных металлов с каждым годом возрастает. В то же время качество перерабатываемых руд и содержание в них металлов непрерывно снижается. Поэтому руды, добываемые в настоящее время, непригодны для непосредственного получения из них металла, и их дальнейшая переработка экономически не выгодна без предварительного обогащения.

Руды цветных металлов отличаются сложностью минерального состава. В большинстве своем они являются комплексными, полиметаллическими, содержащими несколько цветных и редких металлов в виде минералов, совместное присутствие которых затрудняет или исключает применение металлургических процессов без предварительного разделения их методами обогащения. Развитие техники обогащения значительно расширило сырьевую базу промышленности и позволило вовлечь в активные запасы новые месторождения цветных металлов. В настоящее время обогатительные процессы играют первостепенную роль в использовании рудного сырья и производстве цветных металлов.

В соответствии с полученным заданием необходимо разработать схему обогащения и запроектировать обогатительную фабрику по переработке медно – цинковых руд Абызского месторождения с производительностью 600 тысяч тонн в год. При проектировании за аналог взята Абызская обогатительная фабрика. В проекте так же необходимо привести технико-экономическое обоснование строительства данной фабрики, расчет рентабельности производства и себестоимости продукции. При выполнении работы использовались данные, действующей обогатительной фабрики в период прохождения преддипломной практики.

В состав обогатительной фабрики входят: корпус крупного, среднего и мелкого дробления, главный корпус, фильтровальное отделение, реагентный



корпус, административный корпус, бытовой корпус и вспомогательные корпуса. Компоновка оборудования выполнена с учетом транспортировки продуктов на наименьшие расстояния с соблюдением принципа самотечности технологических продуктов, а также компактности размещения оборудования и удобства их обслуживания.

Тщательная сборка движущихся частей; систематическая смазка частей машин; своевременный ремонт оборудования; применение амортизационных покрытий на рабочих местах; оборудование, являющееся источником вибрации, устанавливаются на специальные фундаменты, амплитуда колебаний которых не превышает 0,1 – 0,2 мм; конструктивные элементы зданий (опорные колонны, балки колонн) не связываются с фундаментом машин; фундаменты, на которых установлены вибрирующие машины, снабжаются виброизоляцией – прокладками из резины, войлока, пробки, дерева, а также применяются пружинные специальные гасители; обеспечение технологического персонала, специальной обувью на толстой резиновой подошве и специальными "виброгасящими" рукавицами.

Выходить из зоны заражения нужно в одну из сторон, перпендикулярную направлению ветра, ориентируясь на показания флюгера, развигивание флага или любого другого куска материи, по наклону деревьев из открытой местности. После выхода из зоны заражения необходимо пройти санитарную обработку. Получившие незначительные поражения обращаются в медицинские учреждения для определения степени поражения и проведения профилактических и лечебных мероприятий.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Полькин С. И., Адамов Э. В. Обогащение руд цветных и редких металлов. – М.: Недра, 2015 г.
2. Флотационное обогащение. О факторах влияющих на флотацию медно-свинцово-цинково-пиритных руд и на выбор реагентов. //Экспресс – информация, ВИНТИ, №35, – М.: 2017 г.
3. Ревазашвили Б.И., Сажин Ю.Г. Расчеты схем рудоподготовки и выбор дробильно-измельчительного оборудования. Измельчение – А.: Каз ПТИ, 2015 г.
4. Сажин Ю.Г. Расчеты схем рудоподготовки и выбор оборудования для дробления, грохочения, измельчения и классификации – А.: Каз НТУ, 1999 г.
5. Справочник по обогащению руд. Под редакцией Богданова О. С., Олевского В. А. – М.: Недра, том I, II,III, 2018 г.
6. Разумов К.А., Перов В.А. Проектирование обогатительных фабрик. – М.: Недра, 2018 г.
7. Троп А.Е., Козин В. З., Прокофьев Е.В. Автоматическое управление технологическими процессами обогатительной фабрики. – М.: Недра, 2016 г.
8. Моршинин В.М. Охрана труда на обогатительных фабриках. – М.: Недра, 2016 г.
9. Малинова Р.Д., Граценштейн И. М. Организация, планирование и управление на предприятиях цветной металлургии – М.: Металлургия, 2017 г.
10. Милованов Л.и. – М.: Металлургия, 2017 г.
11. Сажин Ю.Г. Расчеты схем рудоподготовки и выбор оборудования для дробления, грохочения, измельчения и классификации: Учеб.пособие. Алматы: КазНТУ, 2015 г. – 177 с.
12. Справочник по обогащению руд. Подготовительные процессы. Изд. 2-е, переработанное и дополненное – М.: Недра, 2018 г.

- 13.Справочник по обогащению руд. Основные процессы. Изд. 2-е, переработанное и дополненное – М.: Недра, 2017 г.
14. Егоров В.Л. Обогащение полезных ископаемых. – М.: Недра, 1986 г.
15. Технический регламент РК «Общие требования к пожарной безопасности» от 16 января 2019 года №14.
16. СН №1.02.013-94 «Вибрация рабочих мест»
17. Закон РК о пожарной безопасности от 22 ноября 2016 г.
18. Шокобаев Т.Ш. Микроэкономика промышленности, 2019 г.-237 с.
19. Злобинский Б.М. Охрана труда в металлургии, М.: Металлургия, 2015 г.-251с.
20. Жарспаев М.Т. Охрана труда и аэрология карьеров: Учеб. Пособие. – Алматы: КазНТУ, 2016 г.

## **ПРИЛОЖЕНИЕ А**

(обязательное)

Чертёж сорбционной колонны