

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

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Проект кожухотрубного теплообменника сернокислотного производства

УДК 66.045.122:661.25

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-4Г61	Михайлова Гулнора Рустемовна		

Руководитель ВКР

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

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Трубченко Т. Г.	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Скачкова Л.А.	-		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

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

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

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

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

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

УТВЕРЖДАЮ:
 Руководитель ООП
 _____ Беляев В.М.
 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврской работы

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

Студенту:

Группа	ФИО
З-4Г61	Михайлова Гулнора Рустемовна

Тема работы:

Проект кожухотрубного теплообменника сернокислотного производства	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	29.01.2021 №29-63/с
Срок сдачи студентом выполненной работы:	07.06.2021

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<p>Кожухотрубчатый теплообменник. Назначение – охлаждение циркулирующей серной кислоты. Режим работы – непрерывный. Температура кислоты на входе в холодильник - 95 °С Температура кислоты на выходе из холодильника, не более - 60 °С Холодный теплоноситель – обратная вода. Температура обратной воды на входе в холодильник – 28 °С Температура оборотной воды на выходе из холодильника – 35 °С. Производительность по серной кислоте – 8 кг/с</p>
---	---

<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<p>Введение Обзор литературы Технологический расчет Гидравлический расчет Выбор конструкционных материалов Механический расчет Финансовый менеджмент; ресурсоэффективность и ресурсосбережение Социальная ответственность Заключение Список использованных источников</p>
<p>Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<p>1. Технологическая схема. 2. Теплообменник. Вид общий. 3. Теплообменник. Сборочный чертеж.</p>

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы

Раздел	Консультант
<p>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</p>	<p>Кандидат экономических наук, доцент ОСГН ШБИП Трубченко Татьяна Григорьевна</p>
<p>Социальная ответственность</p>	<p>Старший преподаватель Скачкова Лариса Александровна</p>

<p>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</p>	<p>24.04.2021</p>
---	-------------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
<p>доцент</p>	<p>Горлушко Д. А.</p>	<p>к.х.н.</p>		<p>24.04.2021</p>

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
<p>3-4Г61</p>	<p>Михайлова Гулнора Рустемовна</p>		<p>24.04.2021</p>

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 94 с., 17 рис., 15 табл., 18 источников, 2 прил.

Ключевые слова: кожухо-трубный теплообменник, сернокислотное производство, интенсификация, теплоноситель, турбулентное течение, критерий Рейнольдса

Объектом исследования является кожухо-трубный теплообменник сернокислотного производства.

Цель работы – проектирование кожухотрубного теплообменника сернокислотного производства.

В процессе исследования проводились технологический, конструктивный, гидравлический, механический расчеты, выбор конструкционных материалов.

В результате исследования была найдена необходимая поверхность теплообмена для обеспечения охлаждения серной кислоты в заданных параметрах. Она составила 27,8 м². По найденной поверхности по ГОСТ 15122-79 выбран стандартный теплообменный аппарат с площадью поверхности теплопередачи 31 м² со следующими характеристиками: диаметр кожуха $D = 400$ мм по ГОСТ 9617-76, тип аппарата ТНГ, условное давление в трубах и кожухе – 0,25 МПа, исполнение по материалу – М1, диаметр трубы – 25 мм., состояние поставки наружной трубы - Г- гладкая, длина труб – 4,0 м., число ходов – 2, группа исполнения – А.

Исходные данные для исследования: температура серной кислоты на входе в холодильник – 95 °С, температура серной кислоты на выходе из холодильника, не более – 60 °С, производительность по серной кислоте – 8 кг/с., холодный теплоноситель – обратная деминерализованная вода, температура оборотной воды на входе в холодильник – 28 °С, температура оборотной воды на выходе из холодильника – 35 °С, схема движения теплоносителей – противоточная.

Область применения: химическая промышленность.

Экономическая эффективность данного проекта показала, что разработанный кожухотрубный теплообменник является более производительным, чем уже действующий.

ОБОЗНАЧЕНИЯ, СОКРАЩЕНИЯ, НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ

Обозначения:

Δt_6 – разность между начальной температурой серной кислоты и конечной температурой воды;

Δt_m – разность между конечной температурой серной кислоты и начальной температурой воды;

c_1 – удельная теплоемкость воды, Дж/(кг·К);

c_2 – удельная теплоемкость серной кислоты, Дж/(кг·К);

μ_2 – динамический коэффициент вязкости серной кислоты, Па·с;

ρ_2 – плотность серной кислоты, кг/м³;

d – диаметр, м;

ω_2 – скорость, м/с;

S_1 – площадь межтрубного пространства, м²

ε_φ – коэффициент, учитывающий угол атаки;

Pr – коэффициент Прандтля;

λ – коэффициент теплопроводности;

β – коэффициент объемного расширения серной кислоты, 1/К;

Δt_2 – движущая сила процесса охлаждения серной кислоты, °С;

$\Sigma r_{ст}$ – суммарное тепловое сопротивление стенки, Вт/(м²·К);

$\delta_{ст}$ – толщина стенки, м;

$\lambda_{ст}$ – коэффициент теплопроводности стенки (стали) Вт/(м²·К);

e – прибавка для стальных трубных решеток, мм;

d_n – наружный диаметр теплообменных трубок;

$\sigma_{доп}$ – допускаемое напряжение, МПа;

$p_{расч}$ – расчетное давление, МПа;

φ – коэффициент прочности сварного шва;

c – прибавка на коррозию;

c_1 – дополнительная прибавка к расчетным величинам, принимается по технологическим монтажным соображениям или для округления размеров;

D_φ – диаметр фланца штуцера распределительной камеры, м;

h – высота фланца штуцера на обечайке распределительной камеры, м.

V – объемный расход теплоносителя, м³/с;

w – скорость движения теплоносителя в штуцере, м/с;

S – площадь поперечного сечения штуцера, м²;

S_p – расчетная толщина стенки, мм;

S – исполнительная толщина стенки цилиндрической обечайки, мм;

D – внутренний диаметр, мм;

φ – коэффициент прочности сварного соединения;

$[\sigma]$ – допускаемое напряжение для рабочего состояния, МПа;

η – поправочный коэффициент для листового проката;

σ^* – нормативное допускаемое напряжение, МПа;

$R_{и}$ – максимальное избыточное давление при гидравлических испытаниях, МПа;

$[\sigma]_{20}$ – допускаемое напряжение для стали 20К, МПа;

$[\sigma]_{и}$ – допускаемое напряжение при гидравлических испытаниях, МПа.

$[\sigma]_{T20}$ – минимальное значение предела текучести при $t = 20^\circ\text{C}$, МПа;

c_o – прибавка для округления расчетной толщины стенки до номинальной толщины по стандарту, мм.

S_{NP} – расчетная толщина стенки сферического днища, мм;

S_c – исполнительная толщина стенки сферического днища, мм;

D_c – внутренний диаметр сферического днища, мм;

D_p – расчетный диаметр оболочки, м.

$c_{ш}$ – прибавка к расчетной толщине стенки штуцера, м;

$F_1; F_2$ – площадь продольного сечения соответственно внешней и внутренней частей штуцера, участвующей в укреплении, м^2 ;

$F_{об}$ – площадь продольного сечения оболочки, участвующей в укреплении, м;

F_k – площадь продольного сечения накладного кольца в зоне укрепления, м;

F – площадь продольного сечения выреза, подлежащая компенсации, м^2 .

$S_{ш}$ – исполнительная толщина стенки штуцера, м;

$S_{шp}$ – расчетная толщина стенки штуцера, м;

$l_{шp}$ – расчетная длина внешней части штуцера, м;

c – прибавка к расчетной толщине стенки штуцера, м.

l_2 – фактическая длина внешней части штуцера, м;

$L_{н}$ – расстояние от наружной стенки штуцера до ближайшего несущего конструктивного элемента на укрепляемой оболочке (кольца жесткости, трубной решетки, опоры), м;

b_{2p} – расчетная ширина накладного кольца, м;

S_k – толщина накладного кольца, равная $(0.8 \div 1)$ исполнительной толщины стенки укрепляемого элемента, м.

$[F]$ – допустимая осевая сила, Н;

$[F]_{п}$ – допустимая осевая сила из условий прочности, Н;

[F]_E – допустимая осевая сила из условий устойчивости, Н;

n_y – коэффициент запаса устойчивости;

N – количество циклов нагружения теплообменника.

Сокращения:

АГМК – Алмалыкский горно-металлургический комбинат;

И – испарители;

К – конденсаторы;

Х – холодильники;

Т – теплообменники;

ТН – теплообменник с неподвижными трубными решетками;

ХК – холодильник с температурным компенсатором на кожухе;

ТП – теплообменник с плавающей головкой;

ИУ – испаритель с U-образными трубками;

Г – горизонтальное;

В – вертикальное.

КФП – каталитическая фитильная печь.

Нормативные ссылки

Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 № 197-ФЗ (ред. от 30.04.2021) //
Собрание законодательства РФ. - 07.01.2002. - № 1 (ч. 1). - Ст. 3.

СП 60.13330.2016 «Отопление, вентиляция, кондиционирование воздуха»
Актуализированная редакция СНиП 41-01-2003.

СП 61.13330.2012 «Тепловая изоляция оборудования и трубопроводов».
Актуализированная редакция СНиП 41-03-2003.

СанПиН 2.2.4.548-96 «Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений».

СП 51.13330.2011 «Защита от шума» Актуализированная редакция СНиП 23-03-2003.

Санитарные правила и нормы СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания»

ГОСТ 12.0.002-2014 «Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Термины и определения».

ГОСТ 12.1.004-91 «Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Пожарная безопасность».

СНиП 21-01-97 «Пожарная безопасность зданий и сооружений».

ГОСТ 12.1.009-2009 «Система стандартов безопасности труда (ССБТ).
Электробезопасность. Термины и определения».

ГОСТ Р 22.0.02-2016 «Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Термины и определения
основных понятий».

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	13
1 ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР	16
2 ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ СХЕМА И ОБОРУДОВАНИЕ СЕРНОКИСЛОТНОГО ПРОИЗВОДСТВА	25
3 ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ	28
3.1 Технологический расчет теплообменника	29
3.1.1 Приближенный расчет теплообменника	29
3.1.2 Уточненный расчет теплообменника	31
3.1.3 Обозначение теплообменного аппарата	34
3.2 Конструктивный расчет	35
3.2.1 Выбор конструкционных материалов для изготовления аппарата	35
3.2.2 Выбор трубных решеток, способ размещения и крепления в них теплообменных труб и трубных решеток к кожуху	36
3.2.3 Выбор конструктивной схемы поперечных перегородок и расстояния между ними	37
3.2.4 Выбор распределительной камеры, крышки и днища аппарата	38
3.2.5 Расчет диаметров штуцеров, выбор фланцев, прокладок и крепежных элементов	39
3.2.6 Проверка необходимости установки компенсирующего устройства	41
3.2.7 Опоры аппарата	42
4 МЕХАНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ	43
4.1 Расчет толщины стенки нагруженной внутренним давлением	43
4.2 Допускаемое внутреннее давление	45
4.3 Укрепление отверстий	46
4.4 Нормативный расчет на прочность элементов кожухотрубных теплообменников	50
4.5 Расчет усилий в элементах теплообменной камеры	53
4.6 Выводы проведенного расчета	61
5 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЯ	63

5.1	Предпроектный анализ	63
5.1.1	Потенциальные потребители результатов исследования	63
5.1.2	Анализ конкурентных технических решений.....	64
5.2	Планирование научно-технического исследования	65
5.2.1	Структура выполнения работы.....	65
5.2.2.	Расчет трудовых затрат на проектирование.....	66
5.2.3	Построение графика проведения технического проекта	68
5.3	Бюджет технического проекта.....	72
5.3.1	Материальные затраты	72
5.3.2	Расчёт амортизационных отчислений	72
5.3.3	Заработная плата исполнителей	73
5.3.4	Отчисления во внебюджетные фонды.....	74
5.3.5	Накладные расходы	75
5.3.6	Формирование бюджета затрат	75
5.4	Выводы по разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	76
6	СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ.....	78
6.1	Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	79
6.2	Производственная безопасность	81
6.2.1	Анализ выявленных вредных и опасных факторов.....	81
6.2.2	Обоснование мероприятий по снижению воздействия	83
6.2.3	Производственная санитария	84
6.2.4	Освещение	85
6.2.5	Производственные шумы.....	86
6.2.6	Пожаробезопасность	87
6.3	Экологическая безопасность.....	87
6.4	Безопасность в чрезвычайных ситуациях	88
6.5	Вывод.....	91
	ЗАКЛЮЧЕНИЕ	92
	СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:	93

ВВЕДЕНИЕ

Серная кислота химический продукт, который широко используется во всем мире. На сегодняшний день заводы и предприятия всего мира используют ее на своих производствах, в различных лабораториях и даже в домашних условиях, так как она имеет различные свойства и применяется в различных сферах деятельности человека данная информация, заимствована в источнике [1].

Можно рассмотреть некоторые сферы ее применения.

Будет правильным описать в первую очередь ее использование как сырье во многих отраслях химической и технологической промышленности, так как она в первую очередь имеет большое влияние на производство минеральных удобрений, по статистике примерно 60 % всей кислоты приходится на это производство. Так же она, бесспорно, используется для производства кислот, различных взрывчатых веществ, множества солей. Серная кислота используется для производства химических волокон, различных красителей, лакокрасочных изделий. Имеет большое значение для пищевой промышленности. Кислота используется в разнообразных технологических целях, так как участвует во многих металлургических и металлообрабатываемых технических системах:

- производит сушку газов;
- обработку металлов;
- участвует в химических процессах, использованных в промышленности.

Не малое влияние, она имеет и в текстильном производстве. И не меньшее участие в пищевом производстве и легкой промышленности, и еще в промышленности нефтеперерабатывающей и кожевенной. Ее влияние на фармацевтическую сферу, тоже немало важно, так как здоровье это важнейший критерий в жизни, а многие препараты изготавливаются на основе серной кислоты, либо серная кислота входит в сегмент, использованный в производстве изготовления.

Если более детально изучать сферу влияния серной кислоты на промышленном производстве, то оно главным образом отличается высвобождением большого количества тепла, согласно источнику [2].

					ФЮРА			
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата				
Разраб.		Михайлова Г.Р.			Введение	Лит.	Лист	Листов
Руковод.		Горлушко Д.А.					13	3
Консульт.								
Н. контр.								
Рук-ль ООП		Беляев В.М						
						ИШПНТ ТПУ Группа: 3-4Г61		

Так как в современном мире из-за роста цен на энергетические ресурсы для любого производства необходимо безопасно и эффективно уничтожить – утилизировать различные вещества или энергию. Намного лучше использовать эту энергию на вторичное использование, или продажу этого ресурса на рынке. Это более удобная альтернатива потере денег и ресурсов. На сегодняшний день многие предприятия которые производят серную кислоты пользуются этим ресурсом, не исключение и АО «Алмалыкский ГМК» который занимается сбытом серной кислоты в больших количествах как

в стране так и за рубежом. Так же использует серную кислоту для опреснения воды и в технологических процессах своего производства.

Серная кислота очень едкое вещество, которое не имеет цвета и запаха масляная по виду, обозначается:



Формула серного ангидрида:



Которые еще называются – «Олеум» (от лат. Oleum - масло) — раствор серного ангидрида SO_3 в 100%-й серной кислоте H_2SO_4 .

Теплообменный аппарат так же использованный в производстве серной кислоты – это аппарат, изготовленный в целях передачи тепла с одного тела другому. В этом аппарате происходят различные процессы, такие как:

- изменение температуры;
- кипение;
- испарение;
- конденсация.

Так же как производство постоянно находится на стадии расширения и увеличения объемов, так же и постоянно растет потребность в увеличении мощности, производительности, габаритов и технологии теплообменников.

Необходима модернизация производства и, если принять во внимание именно теплообменные аппараты, нужно продумать их габариты, то есть более укомплектовать и уменьшить их размер, продумать более корректное и более дешёвое использование материалов для изготовления самого теплообменного аппарата. Но при этом учитывать сложность производства, едкость среды в которой будет использоваться данный аппарат, и просчитать устойчивые критерии на прочность, во избежание потерь производства данная информация взята в источнике [3].

						Лист
						14
изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Энергетическая эффективность аппарата сильно связана с интенсивностью процесса, который в свою очередь зависит от гидравлического сопротивления и обтекания аппарата.

Каждому специалисту химико-технологического направления важно знать расчет теплообменных аппаратов, так как каждый процесс по-своему индивидуален, нужно уметь подобрать теплообменник под процесс.

Целью данной работы является расчет кожухотрубного теплообменника сернокислотного производства для заданных условий.

Комбинат использует кислородно-факельную печь и три конвертера на медеплавильном производстве, от которых в основном отходят газы. Далее эти газы направляются по технологической системе, в которой в свою очередь используют рассматриваемый теплообменник.

Рассматриваемый аппарат нужен для охлаждения серной кислоты, перед тем как она, следуя технологической схеме, поступает в сушильную башню для осушки технологического газа в соответствии с производством серной кислоты.

Для того чтобы, достигнуть поставленную цель, нужно решить нижеперечисленные задачи:

- сделать литературный обзор к данной теме;
- изучить и описать изучаемый объект;
- провести технологические и конструктивные расчеты данного теплообменника;
- показать изучаемый теплообменник схематически;
- рассмотреть вопросы социальной ответственности,
- так же изучить вопросы финансового менеджмента, ресурсоэффективности и ресурсосбережения.

						Лист
						15
изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

1 ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР

Теплообменный аппарат – устройство, в котором осуществляется процесс передачи теплоты от одного теплоносителя к другому для осуществления различных тепловых процессов, например нагревания, охлаждения, кипения, конденсации или более сложных физико-химических процессов, таких как сушка, увлажнение, ректификация, абсорбция и т.д.

По принципу действия теплообменные аппараты разделяют на две большие группы: поверхностные и смесительные аппараты. К первой группе в свою очередь относятся рекуперативные и регенеративные аппараты.

В рекуперативных аппаратах теплопередача между греющей и нагреваемой средами осуществляется через разделяющую стенку. Направление теплового потока в рекуператорах, как правило, не меняется во времени, а процесс теплообмена может протекать как без изменения агрегатного состояния потоков, так и с изменением обеих или одной из рабочих сред.

Рекуперативные аппараты классифицируют по следующим признакам:

- по роду теплоносителей в зависимости от их агрегатного состояния: парожидкостные; жидкостно-жидкостные; газо-жидкостные; парогазовые;
- по конфигурации поверхности теплообмена: трубчатые аппараты с прямыми трубками; спиральные; пластинчатые; змеевиковые; ребристые; сетчатые;
- по компоновке поверхностей теплообмена: типа «труба в трубе»; кожухотрубные аппараты;

Рекуперативные аппараты могут быть классифицированы по назначению (подогреватели, холодильники и т.д.); по взаимному направлению потоков рабочих сред (прямоток, противоток, смешанный ток и т.д.); по материалу поверхности теплообмена; по числу ходов теплоносителей и т.д.

Рекуперативные аппараты большей частью работают в стационарных условиях.

Конструкции рекуперативных теплообменных аппаратов, применяемые в системах теплогазоснабжения, вентиляции и кондиционирования воздуха, разнообразны. К ним относят:

					ФЮРА			
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата				
Разраб.		Михайлова Г.Р.			Литературный обзор	Лит.	Лист	Листов
Руковод.		Горлушко Д.А.					16	9
Консульт.							ИШПНТ ТПУ	
Н. контр.							Группа: 3-4Г61	
Рук-ль ООП		Беляев В.М						

- водоводяные и пароводяные подогреватели;
- парогенераторы;
- деарационные установки;
- экономайзеры;
- воздухоподогреватели;
- конденсаторы;
- холодильники;
- испарители;
- калориферы.

В регенераторах одна и та же поверхность теплообмена через определенные промежутки времени омывается то горячим, то холодным теплоносителем.

В этих аппаратах теплота, переданная от одного из теплоносителей твердому заполнителю канала, аккумулируется им, а затем отдается второму теплоносителю, когда наступает его очередь движения через аппарат. Главным элементом регенераторов, определяющим в основном эффективность их работы, является насадка. Насадки конструируют таким образом, чтобы образовать большое число извилистых каналов, что позволяет интенсифицировать процесс теплообмена и сделать аппарат компактным. Известны два основных типа регенераторов. В одном из них твердый материал насадки остается неподвижным; в другом твердая насадка постоянно вращается и поочередно проходит отсеки, через которые пропускается греющий и обогреваемый теплоносители. Они выполняются с противоточным однонаправленным и перекрестным течением теплоносителей.

Регенеративные аппараты нашли широкое применение в энергосберегающих системах вентиляции и кондиционирования воздуха. В смесительных аппаратах теплопередача осуществляется при непосредственном контакте и смешении горячего и холодного теплоносителей.

Типичным примером таких теплообменников являются градирни тепловых электрических станций, кондиционеры.

В теплообменных аппаратах с внутренними источниками энергии применяются не два, как обычно, а один теплоноситель, который отводит теплоту, выделенную в самом аппарате. Примером таких аппаратов служат ядерные реакторы, электронагреватели и другие устройства, согласно источнику [4].

Кожухо-трубные теплообменники относятся к наиболее распространенным теплообменным аппаратам, что обусловлено, прежде всего, надежностью конструкции,

						Лист
						17
изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

большим набором вариантов исполнения для различных условий эксплуатации, широким диапазоном применения по давлению, температурному режиму, потоковым средам, высокой ремонтопригодностью.

Они предназначены для работы с теплоносителями: газ – газ, жидкость – жидкость, пар – жидкость, газ – жидкость [5].

В кожухо-трубчатых теплообменных аппаратах поверхность теплообмена создается трубками, которые закреплены в трубных досках и размещены в кожухе (рис. 1.1).



Рисунок 1.1 – Внешний вид горизонтального теплообменника

Один теплоноситель движется внутри трубок, а второй омывает их с внешней стороны (рис. 1.2) в соответствии с информацией [6].

						Лист
						18
изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

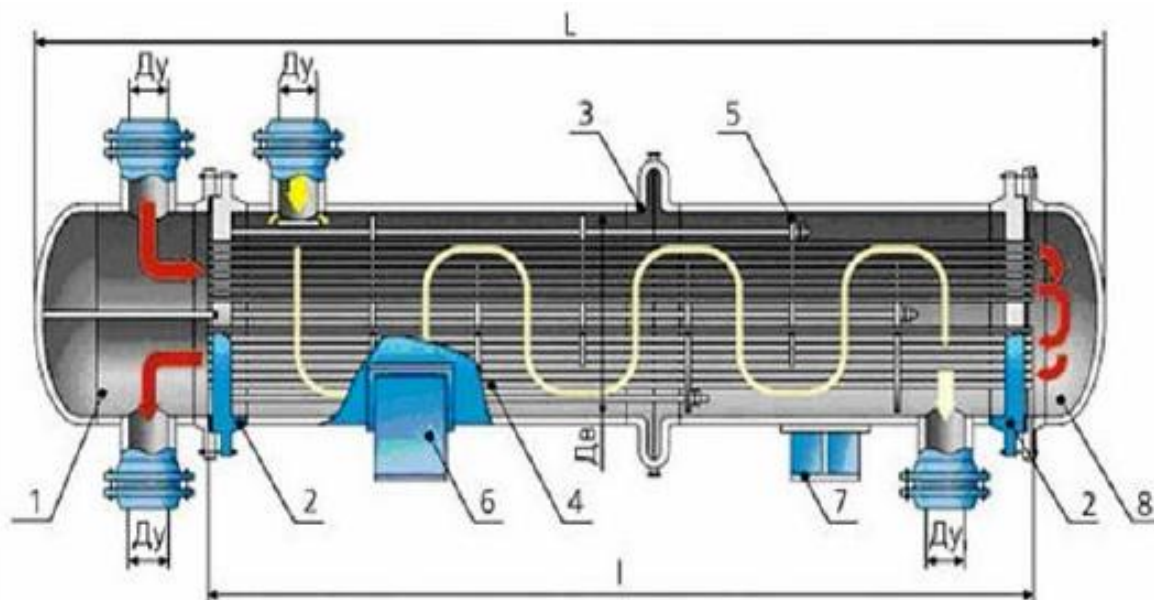


Рисунок 1.2 – Поперечный разрез двухходового теплообменника: 1 – крышка с перегородкой; 2 – трубная доска с фланцем; 3 - компенсатор линзовый; 4 – трубы теплообменные; 5 – поперечные перегородки в межтрубном пространстве; 6 и 7 – опоры; 8 – крышка правая

В зависимости от назначения стандарты [7 – 10] предусматривают четыре вида кожухо-трубчатых аппаратов, используемых с различными параметрами теплоносителей.

Вид аппарата обозначают первой буквой:

- И – испарители;
- К – конденсаторы;
- Х – холодильники;
- Т – теплообменники

Конструктивное исполнение аппарата, обеспечивающее компенсацию температурных деформаций его элементов, указано второй буквой условного обозначения.

Примеры буквенных обозначений теплообменников:

- ТН – теплообменник с неподвижными трубными решетками;
- ХК – холодильник с температурным компенсатором на кожухе;
- ТП – теплообменник с плавающей головкой;
- ИУ – испаритель с U-образными трубками.

Третья буква в условном обозначении показывает исполнение:

- Г – горизонтальное;
- В – вертикальное.

						Лист
						19
изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Трубы в решетках обычно равномерно размещают по периметрам правильных шестиугольников, реже применяют размещение труб по концентрическим окружностям. В отдельных случаях, когда необходимо обеспечить удобную очистку наружной поверхности труб, их размещают по периметрам прямоугольников. Все указанные способы размещения труб преследуют одну цель – обеспечить, возможно, более компактное размещение необходимой поверхности теплообмена внутри аппарата. В большинстве случаев наибольшая компактность достигается при размещении трубок по периметрам правильных шестиугольников.

Концы труб крепятся в трубных решетках чаще всего развальцовкой (рис. 1.3, а, б) причем особенно прочное соединение (необходимое в случае работы аппарата при повышенных давлениях) достигается при устройстве в трубных решетках отверстий с кольцевыми канавками, которые заполняются металлом трубы в процессе ее развальцовки (рис. 1.3, б).

Кроме того, используют закрепление труб сваркой (рис. 1.3, в), если материал трубы не поддается вытяжке и допустимо жесткое соединение труб с трубной решеткой, а также пайкой (рис. 1.3, г), применяемой для соединения главным образом медных и латунных труб данная информация согласно информации изложенной в стандартах [7 – 10].

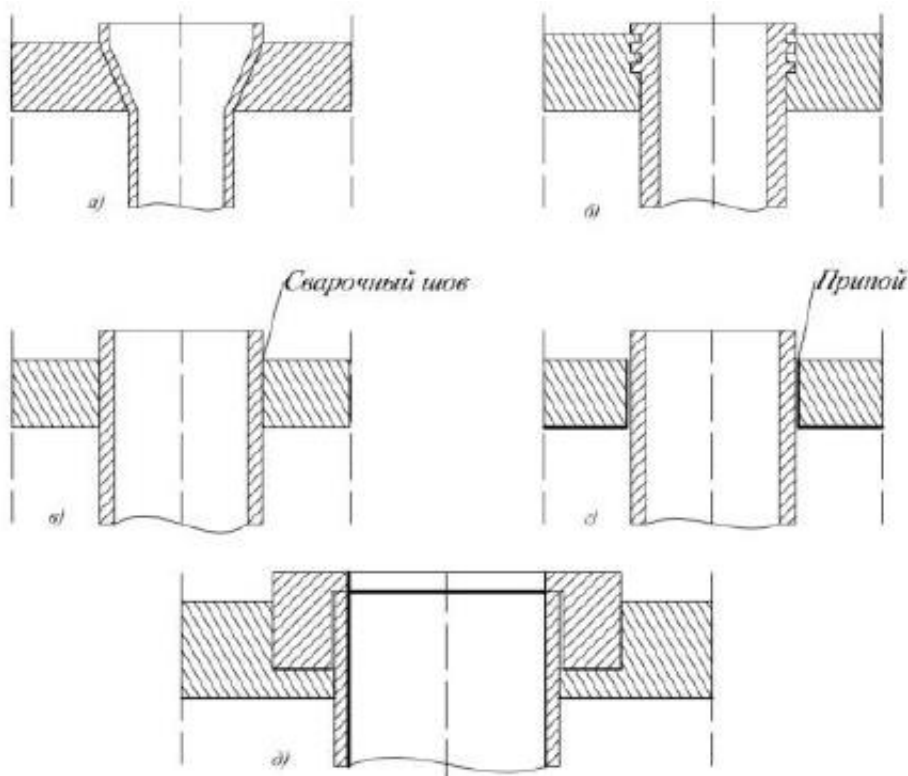


Рисунок 1.3 – Способы крепления труб в трубных решетках: а – развальцовкой; б – развальцовкой с канавками; в – сваркой; г – пайкой; д – сальниковыми устройствами

						Лист
						20
изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Иногда используют соединение труб с решеткой посредством сальников (рис. 1.3, д), допускающих свободное продольное перемещение труб и возможность их быстрой замены. Такое соединение позволяет значительно уменьшить температурную деформацию труб, но является сложным, дорогим и недостаточно надежным.

Так как проходное сечение межтрубного пространства в 2-3 раза больше проходного сечения внутри труб, при равных расходах теплоносителей с одинаковым фазовым состоянием, коэффициент теплоотдачи на поверхности межтрубного пространства невелик, что снижает коэффициент теплопередачи в аппарате. Для создания высоких значений коэффициента теплоотдачи в межтрубном пространстве устанавливают перегородки. Устройство перегородок в межтрубном пространстве увеличивает скорость теплоносителя и соответственно эффективность теплообмена.

Для интенсификации теплообмена в трубном пространстве организуют прохождение теплоносителя в несколько ходов (рис. 1.4, б, в).

Теплопередающая поверхность кожухо-трубных теплообменников составляет от нескольких сотен см^2 до нескольких тысяч м^2 .

В кожухо-трубных теплообменниках промышленных технологических установок, в конденсаторах паровых турбин, водоподогревателях тепловых электростанций и тепловых сетей обычно применяют трубы внутренним диаметром 12...38 мм, длиной 0,9...6 м, толщиной стенки 0,5...2,5 мм. При увеличении диаметра труб значительно снижается компактность и возрастает металлоемкость аппарата. Если вероятность загрязнения отсутствует, можно использовать трубы с диаметром 4 – 10 мм. Это повышает интенсивность теплообмена, но повышаются и гидравлические сопротивления. Кроме того, необходима большая точность изготовления, так как при малых проходных сечениях уже небольшие различия в диаметре и расположении труб в пучке вызывают значительную неравномерность расходов теплоносителя по параллельным каналам, и снижают тепловую мощность аппарата.

В парожидкостных теплообменниках пар пропускается в межтрубном пространстве, а жидкость течет в трубах. Разность температур стенок корпуса и труб в этих теплообменниках значительна, поэтому они снабжаются компенсирующими устройствами для предотвращения температурных деформаций. Но компенсаторы можно ставить только при низких давлениях в межтрубном пространстве (до 1 МПа).

В зависимости от величины температурных удлинений трубок и корпуса применяют кожухо-трубные теплообменники жесткой, полужесткой и нежесткой конструкций.

						Лист
						21
изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Аппараты жесткой конструкции используют при сравнительно небольших разностях температур корпуса и пучка труб; эти теплообменники отличаются простотой устройства.

В теплообменнике полужесткой конструкции температурные деформации компенсируются осевым сжатием или расширением линзового компенсатора (рис. 1.4, а). Такие теплообменники применяют при небольших температурных деформациях (~ 10 – 15 мм) и невысоких давлениях в межтрубных пространствах.

Если разность температур труб и кожуха достаточно велика (свыше 50°C), то трубы и кожух удлиняются неодинаково, что приводит к значительным напряжениям в трубных решетках, нарушению плотности соединения труб с трубными решетками. Это может привести к смешению теплоносителей или деформации труб. Поэтому при значительной разнице температур труб и кожуха применяют теплообменники нежесткой конструкции, в которых возможно перемещение труб по отношению к кожуху аппарата для устранения дополнительных напряжений от температурных удлинений.

Не жесткость конструкции обеспечивается сальниковым уплотнением на патрубке или корпусе, пучком U-образных или W-образных труб, подвижной трубной решеткой закрытого или открытого типа.

В теплообменнике с U-образными и W-образными трубами (рис. 4, б, в) оба конца труб закреплены в одной трубной решетке, что позволяет трубам свободно удлиняться.

Теплообменник с плавающей головкой (рис. 4, г) применяют при значительных относительных перемещениях труб и кожуха, поскольку в нем одна из решеток не соединена с кожухом и может свободно перемещаться вдоль оси при температурных удлинениях.

В кожухо-трубном теплообменнике один из теплоносителей протекает по трубам, другой – по межтрубному пространству. Теплота от одного теплоносителя другому передается через поверхность стен труб.

Если пар и воздух (для увеличения коэффициента теплоотдачи) обычно пропускают в межтрубном пространстве, то дымовые газы пропускают по трубам с целью уменьшения засорения аппарата золой и сажей и облегчения его чистки.

Кожухо-трубные теплообменники могут быть вертикальными, горизонтальными и наклонными в соответствии с требованиями технологического процесса или удобства монтажа.

						Лист
						22
изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

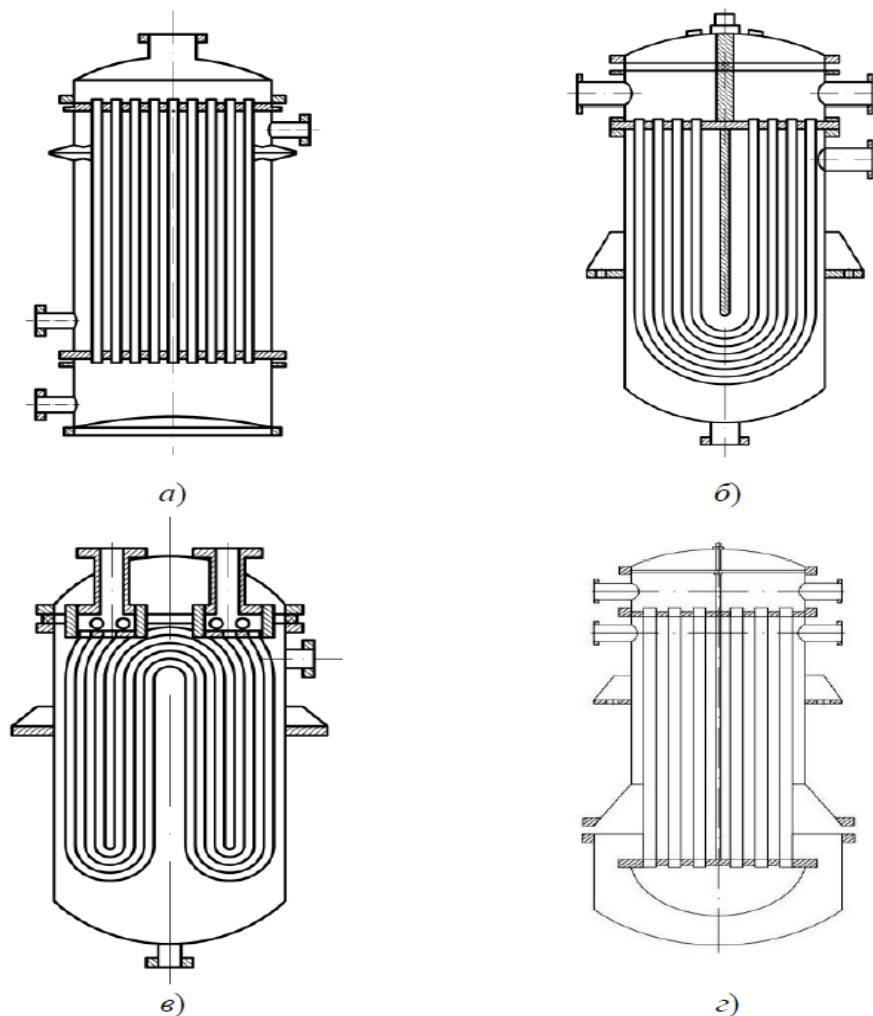


Рисунок 1.4 – Кожухотрубные теплообменники с компенсацией неодинаковости температурных удлинений труб и кожуха: а – теплообменник с линзовым компенсатором (полужесткая конструкция); б – аппарат с U-образными трубами; в – аппарат с W-образными трубами; г – теплообменник с плавающей головкой

Теплообменники с неподвижными решетками типов ТН, ТК, ХН, ХК, КН, КК, ИН, ИК изготавливаются по ТУ 3612-024-00220302-02 Аппараты теплообменные кожухотрубчатые с неподвижными трубными решетками и кожухотрубчатые с температурным компенсатором на кожухе.

Теплообменники с компенсацией неодинаковости температурного расширения труб и кожуха типов ТП, ХП, КП, ТУ изготавливаются по ТУ 3612-023-00220302-01 Аппараты теплообменные кожухотрубчатые с плавающей головкой, кожухотрубчатые с U-образными трубами и трубные пучки к ним, согласно источнику [5].

Поскольку с теплотехнической точки зрения все аппараты имеют одно назначение – передачу теплоты от одного теплоносителя к другому, это и определяет те общие положения, которые лежат в основе теплового расчета любого теплообменного аппарата.

						Лист
						23
изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Первым критерием надежной работы теплообменного аппарата должна быть обеспечена во время работы от одного профилактического ремонта до другого, где заданных ограниченных по перепаду давлений и независимо от увеличения отложений на поверхности теплообмена.

Второй критерий заключается в том, что теплообменник должен удовлетворять условиям, общим для всего оборудования. Сюда входят механические напряжения, погрузка, сборка, запуск, остановка и другие операции, связанные с возможными аварийными ситуациями. Не допускать возникновения коррозии от воздействия теплоносителей и окружающей среды выбором материала и конструкции аппарата.

Третий критерий представляет собой требование возможности периодического ремонта теплообменника, включающий в себя очистку поверхностей теплообмена, замену трубок, уплотнений и других элементов конструкции, подверженных коррозии, эрозии, вибрации или старению.

Четвертый принцип заключается в том, что следует учитывать преимущества многосекционной компоновки с отсеченными клапанами. Это позволит ремонтировать поочередно каждую секцию без особого ущерба для работы всего аппарата.

Пятый критерий сводится к тому, что аппарат должен иметь минимально возможную стоимость при соответствии выше перечисленным критериям.

При конструировании могут иметь место ограничения на диаметр аппарата, длину, массу или сортамент труб при перевозке, возможности обслуживания, хранения запасных труб и уплотнений.

В инженерной практике используют два типа тепловых расчета теплообменных аппаратов – конструктивный и поверочный.

Конструктивный тепловой расчет связан с проектированием новых аппаратов и имеет конечной целью определение поверхности теплообмена, обеспечивающей необходимую теплопроизводительность при заданных температурах и расходах рабочих сред. Для выполнения конструктивного расчета исходят из опыта эксплуатации существующих теплообменных установок или на основании результатов опытно – конструкторских разработок и проведенных испытаний выбирают тип аппарата, его конструктивную схему, схему относительного движения потоков, материалы для изготовления конструктивных элементов.

Кроме того, задаются некоторыми величинами. К ним относят характерные размеры теплообменной поверхности (диаметр труб, геометрия размеров), скорости движения рабочих сред, участвующих в теплообмене, значения гидравлических сопротивлений и т. д. в соответствии с информацией в источнике [4].

						Лист
						24
изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

2 ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ СХЕМА И ОБОРУДОВАНИЕ СЕРНОКИСЛОТНОГО ПРОИЗВОДСТВА

АГМК эксплуатирует одну печь КФП и три конвертера Peirce-Smith в рамках медеплавильного производства недалеко от г. Алмалык в Узбекистане. Большая часть отходящих газов направляется в отделение очистки газа, где освобождается от большого количество пыли, кислотного тумана и других примесей.

Технологические газы после очистки содержат значительное количество SO₂. Для предотвращения коррозии в производстве серной кислоты технологический газ, поступающий в производство, должен иметь температуру 30⁰С и подвергаться осушке.

Это достигается в сушильной башне, которая орошается концентрированной серной кислотой H₂SO₄ при температуре приблизительно 60⁰С.

Циркулирующая кислота концентрацией 97% имеет температуру 95⁰С и должна охлаждаться в холодильниках серной кислоты. Количество холодильников, необходимое для обеспечения заданной производительности по серной кислоте будет определено в результате технологического расчета. Охлаждение проводят холодной водой с начальной температурой 28⁰С.

После сушильной башни установлена основная газодувка SO₂ которая подает технологический газ в контактное отделение технологический газ направляется на стадию каталитического окисления SO₂ в SO₃.

Тепло абсорбции снимается обратной водой в кислотных кожухо-трубных или пластинчатых теплообменниках, количество которых будет определено в результате расчета.

					ФЮРА			
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата				
Разраб.		Михайлова Г.Р.			Технологическая схема и оборудование сернокислотного производства	Лит.	Лист	Листов
Руковод.		Горлушко Д.А.					25	3
Консульт.						ИШПНТ ТПУ Группа: 3-4Г61		
Н. контр.								
Рук-ль ООП		Беяев В.М						

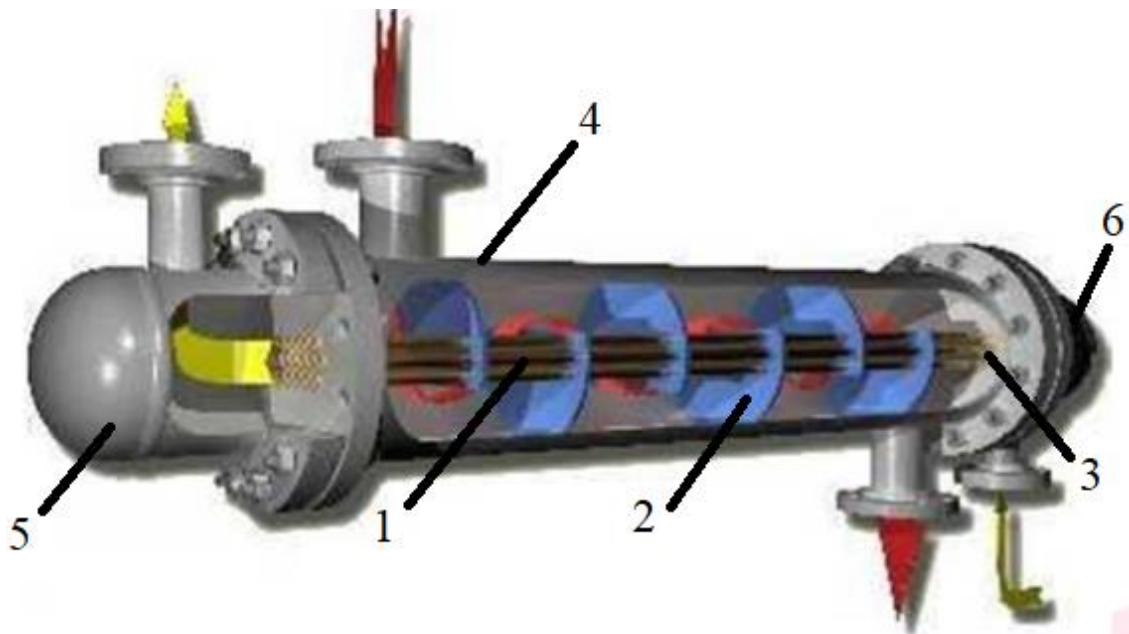


Рисунок 2.2 – Кожухотрубный холодильник для кислоты: 1 – теплообменные трубы; 2 – трубные перегородки; 3 – трубная решетка; 4 – кожух; 5,6 – распределительные камеры

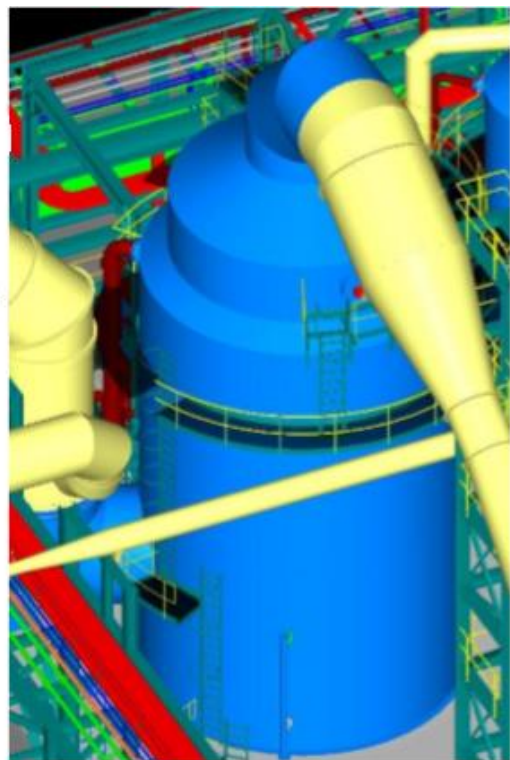
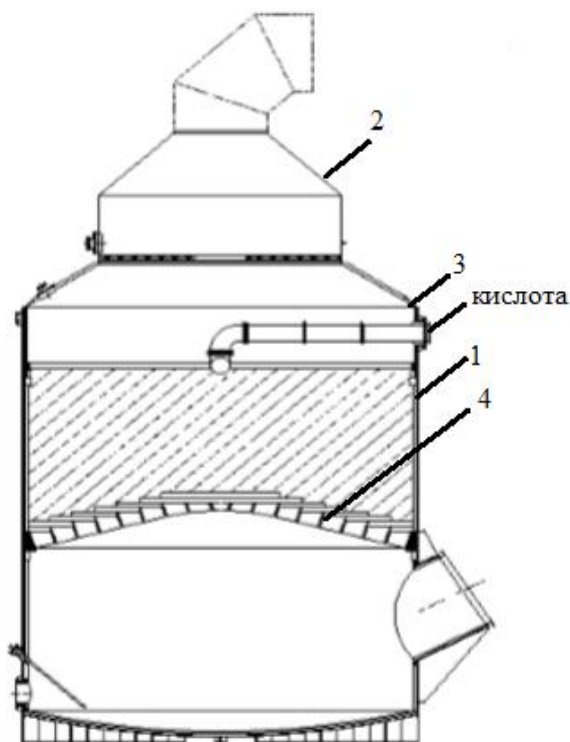


Рисунок 2.3 – Эскиз сушильной башни: 1 – стальной кожух; 2 – стальная крышка; 3 – футеровка кислотостойким кирпичом; 4 – насадочные кольца

					Лист
изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	
					26



Рисунок 2.4 – Абсорбционная и сушильная башни: «Outotec GmbH» которые находятся в эксплуатации, АО «Алмалыкский ГМК»

					Лист
изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	

3 ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ

Технологический расчет заключается в тепловом расчете теплообменника, и выбора ряда стандартных теплообменников для дальнейших расчетов.

В данной работе охлаждение циркулирующей серной кислоты будем проводить в горизонтальном кожухо-трубчатом теплообменнике холодной водой.

Исходные данные:

Температура серной кислоты на входе в холодильник – 95 °С.

Температура серной кислоты на выходе из холодильника, не более – 60°.

Производительность по серной кислоте – 8 кг/с.

Холодный теплоноситель – обратная деминерализованная вода.

Температура обратной воды на входе в холодильник – 28 °С

Принимаем температуру обратной воды на выходе из холодильника – 35 °С.

Схема движения теплоносителей противоточная, так как она обеспечивает минимальную поверхность теплообмена.

Далее в расчетах для серной кислоты концентрацией 95 – 97 % будем принимать свойства серной кислоты 98 %, а для деминерализованной обратной воды свойства обычной обратной воды как мало отличающиеся с учетом запаса поверхности теплообмена.

					ФЮРА			
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Технологический расчет	Лит.	Лист	Листов
Разраб.		Михайлова Г.Р.					28	15
Руковод.		Горлушко Д.А.						
Консульт.								
Н. контр.								
Рук-ль ООП		Беляев В.М				ИШПНТ ТПУ Группа: 3-4Г61		

3.1 Технологический расчет теплообменника

3.1.1 Приближенный расчет теплообменника

Расчет средних температур. Составляем температурную схему:

$$95 \quad - \quad 60$$

$$35 \quad - \quad 28$$

$$\Delta t_6 = 60 \quad \Delta t_M = 32$$

Средняя разность температур находится по формуле (3.1)

$$\Delta t_{CP} = \frac{\Delta t_B - \Delta t_M}{\ln\left(\frac{\Delta t_B}{\Delta t_M}\right)}, \quad (3.1)$$

где Δt_6 – разность между начальной температурой серной кислоты и конечной температурой воды;

Δt_M – разность между конечной температурой серной кислоты и начальной температурой воды.

$$\Delta t_{CP} = \frac{60 - 32}{\ln\left(\frac{60}{32}\right)} = 44,5 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Средняя температура воды находится по формуле (3.2):

$$t_1 = 0,5 \cdot (t_H + t_K), \quad (3.2)$$

$$t_1 = 0,5 \cdot (28 + 35) = 31,5 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Средняя температура серной кислоты находится по формуле (3.3):

$$t_2 = 0,5 \cdot (t_H + t_K), \quad (3.3)$$

$$t_2 = 95 + 60 = 77,5 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Расчет теплоты на охлаждение серной кислоты проводится по формуле (3.4):

$$Q = G_2 \cdot c_2 \cdot (t_{2K} - t_{2H}), \quad (3.4)$$

где c_2 – удельная теплоемкость серной кислоты при температуре $77,5 \text{ } ^\circ\text{C}$, Дж/(кг·К) [17, Рис.XI].

$$Q = 8 \cdot 1508 \cdot (95 - 60) = 422240 \text{ Вт}.$$

Расход охлаждающей воды находится по формуле (3.5):

$$G_1 = \frac{Q}{c_1 \cdot (t_{1H} - t_{1K})}, \quad (3.5)$$

						Лист
						29
изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

где c_1 – удельная теплоемкость воды при 31,5 °С [17, табл. XXXIX].

$$G_1 = \frac{422240}{4180 \cdot (35 - 28)} = 14,4 \text{ кг/с.}$$

В межтрубное пространство направим холодный теплоноситель, что позволит отказаться от теплоизоляции кожуха теплообменника.

Ориентировочно определяем максимальную величину поверхности теплообмена по формуле (3.6). По литературным данным [17, табл. 4.8] минимальное значение коэффициента теплопередачи для случая теплообмена между жидкостью и жидкостью (вода) $K_{\text{мин}} = 800 \text{ Вт/(м}^2\text{К)}$. При этом

$$F_{\text{МАКС}} = \frac{Q}{K_{\text{МИН}} \cdot \Delta t_{\text{СР}}}, \quad (3.6)$$

$$F_{\text{МАКС}} = \frac{422240}{800 \cdot 44,5} = 11,9 \text{ м}^2.$$

Принимаем для более интенсивного теплообмена режим движения серной кислоты турбулентный, т.е. $Re = 10000$.

Для обеспечения турбулентного течения серной кислоты скорость в трубах по формуле (3.7) должна быть больше ω_2 :

$$\omega_2 = \frac{Re \cdot \mu_2}{d_2 \cdot \rho_2}, \quad (3.7)$$

где μ_2 – динамический коэффициент вязкости серной кислоты при 77,5 °С, Па·с [17, Рис.V];

ρ_2 – плотность серной кислоты при 77,5 °С, кг/м³ [1];

d – внутренний диаметр трубок, м.

$$\omega_2 = \frac{10000 \cdot 4,53 \cdot 10^{-3}}{0,021 \cdot 1782} = 1,21 \text{ м/с.}$$

Число труб 25×2 мм, обеспечивающих объемный расход серной кислоты по формуле (3.8) при $Re = 10000$:

$$n' = \frac{G_2}{0,785 \cdot \rho_2 \cdot d_2^2 \cdot \omega_2}, \quad (3.8)$$

$$n' = \frac{8}{0,785 \cdot 1782 \cdot 0,021^2 \cdot 1,21} = 11$$

Условию $n < 11$ и $F < 12,4 \text{ м}^2$ не удовлетворяет не один теплообменник. Поэтому принимаем предварительно двухходовой с внутренним диаметром кожуха 400 мм, общим

						Лист
						30
изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

числом труб $n = 100$ ($n = 50$ на один ход трубного пространства) и площадью поверхности теплообмена от 16 до 47 м² [17, таблица 4.12].

3.1.2 Уточненный расчет теплообменника

Расчет исходных величин.

Скорость и критерий Рейнольдса для серной кислоты найдем по формулам (3.9) и (3.10):

$$\omega_2 = \frac{G_2}{0,785 \cdot \rho_2 \cdot n \cdot d_2^2}, \quad (3.9)$$

$$Re_2 = \frac{\omega_2 \cdot d_2 \cdot \rho_2}{\mu_2}, \quad (3.10)$$

$$\omega_2 = \frac{8}{0,785 \cdot 1782 \cdot 50 \cdot 0,021^2} = 0,26 \text{ м/с},$$

$$Re_2 = \frac{0,026 \cdot 0,021 \cdot 1782}{4,53 \cdot 10^{-3}} = 2142.$$

Скорость воды находится по формуле (3.11):

$$\omega_1 = \frac{G_1}{\rho_1 \cdot S_1}, \quad (3.11)$$

где S_1 – площадь межтрубного пространства, м² [17, таблица 4.12].

$$\omega_1 = \frac{14,4}{996 \cdot 2,5 \cdot 10^{-2}} = 0,58 \text{ м/с}.$$

Критерий Рейнольдса для воды найдем по формуле (3.10), принимая диаметром – наружный диаметр трубок, определяющий их линейный размер при поперечном обтекании:

$$Re_1 = \frac{0,58 \cdot 0,025 \cdot 996}{0,78 \cdot 10^{-3}} = 18461.$$

Для расчета процесса теплопередачи необходимо знать температуры стенок со стороны воды и серной кислоты – $t_{ст.1}$ и $t_{ст.2}$. Зададимся значениями исходя из того, что $t_2 > t_{ст.2} > t_{ст.1} > t_1$. Например, $t'_{ст.1} = 35,0 \text{ }^\circ\text{C}$, $t'_{ст.2} = 49 \text{ }^\circ\text{C}$ (с последующей проверкой).

Коэффициент теплоотдачи для воды:

При поперечном, омывании потоком трубного пучка при $Re \geq 1000$ рекомендуется соотношение (3.12):

						Лист
						31
изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$Nu = 0,4 \cdot \varepsilon_{\varphi} \cdot Re^{0,6} \cdot Pr^{0,36} \cdot \left(\frac{Pr}{Pr_{ст}} \right)^{0,25}, \quad (3.12)$$

где ε_{φ} - коэффициент, учитывающий угол атаки, принимаемый для кожухотрубчатых теплообменников [17, стр.157] равный 0,6;

Pr – коэффициент Прандтля (3.13)

$$Pr = \frac{c \cdot \mu}{\lambda}, \quad (3.13)$$

Где: λ – коэффициент теплопроводности [6, таблица. XXXIX].

Критерий Прандтля для воды при температуре 31,5 °С:

$$Pr_1 = \frac{4184 \cdot 0,853 \cdot 10^{-3}}{0,613} = 5,30.$$

Критерий Прандтля для воды при температуре стенки $t'_{ст.1} = 35$ °С:

$$Pr_{ст.1} = \frac{4180 \cdot 0,725 \cdot 10^{-3}}{0,626} = 4,84,$$

$$Nu_1 = 0,4 \cdot 0,6 \cdot 18461^{0,6} \cdot 5,30^{0,36} \cdot (5,30/4,84)^{0,25} = 162.$$

Значение коэффициента теплоотдачи для воды найдем из формулы (3.14):

$$\alpha = \frac{Nu \cdot \lambda}{d}, \quad (3.14)$$

$$\alpha_1 = \frac{162 \cdot 0,626}{0,025} = 4056 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}).$$

Коэффициент теплоотдачи для серной кислоты:

Ориентировочное значение ($Gr_2 Pr_2$) при 77,5 °С для серной кислоты найдем по формулам (3.15), (3.16):

$$Gr_2 Pr_2 = \frac{d^3 \rho_2^2 \beta_2 \Delta t_2 g}{\mu_2^2} Pr_2, \quad (3.15)$$

$$\Delta t_2 = t_2 - t_{ст.2}, \quad (3.16)$$

где β - коэффициент объемного расширения серной кислоты, 1/К [6, приложение VI],

Δt_2 – движущая сила процесса охлаждения серной кислоты, °С.

$$\Delta t_2 = 77,5 - 49 = 28,5 \text{ °С}.$$

Критерий Прандтля для серной кислоты при 77,5 °С найдем из формулы (3.13):

						Лист
						32
изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$Pr_2 = \frac{1508 \cdot 4,53 \cdot 10^{-3}}{0,279} = 24,48,$$

$$Gr_2 Pr_2 = \frac{0,021^3 \cdot 1782^2 \cdot 0,52 \cdot 10^{-3} \cdot 28,5 \cdot 9,81}{(4,53 \cdot 10^{-3})^2} \cdot 24,48 = 1,6 \cdot 10^4.$$

При $(Gr_2 Pr_2) < 8 \cdot 10^5$ и $Re < 2300$ применима формула (3.17):

$$Nu_2 = 15 \cdot \varepsilon_1 \cdot \left(Re_2 \frac{d_2}{L} \right)^{0,33} \left(\frac{\mu_2}{\mu_{ст.2}} \right)^{0,14}. \quad (3.17)$$

Принимая длину труб $L = 3$ м получим:

$$Re_2 \frac{d_2}{L} = 2142 \frac{0,021}{4} = 11,2,$$

$$Nu_2 = 15 \cdot 1 \cdot (11,2)^{0,33} \cdot \left(\frac{4,53 \cdot 10^{-3}}{12,9 \cdot 10^{-3}} \right)^{0,14} = 38.$$

Значение коэффициента теплоотдачи для серной кислоты найдем из формулы (3.14):

$$\alpha_2 = \frac{38 \cdot 0,28}{0,021} = 502 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}).$$

Расчет коэффициента теплопередачи:

Коэффициент теплопередачи находится по формулам (3.18) и (3.19):

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \Sigma r_{ст} + \frac{1}{\alpha_2}}, \quad (3.18)$$

$$\Sigma r_{ст} = \frac{1}{r_{загр.1} + \frac{\delta_{ст}}{\lambda_{ст}} + r_{загр.2}}, \quad (3.19)$$

где $\Sigma r_{ст}$ – суммарное тепловое сопротивление стенки, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ [12, табл. XXXI];

$\delta_{ст}$ – толщина стенки, м;

$\lambda_{ст}$ – коэффициент теплопроводности стенки (стали) $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ [12, табл. XXXVIII].

$$\frac{1}{\Sigma r_{ст}} = \frac{1}{\frac{1}{2500} + \frac{0,002}{17,5} + \frac{1}{5800}} = 1456 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}),$$

						Лист
						33
изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$K = \frac{1}{\frac{1}{4056} + \frac{1}{1456} + \frac{1}{502}} = 342 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$$

Уточним значения $t_{\text{ст.1}}$ и $t_{\text{ст.2}}$ через плотность теплового потока, q , из уравнений (3.20), (3.21), (3.22):

$$q = K \cdot \Delta t_{\text{ср}}, \quad (3.20)$$

$$t_{\text{ст.1}} = t_1 + \Delta t_2 = t_1 + \frac{q}{\alpha_1}, \quad (3.21)$$

$$t_{\text{ст.2}} = t_2 - \Delta t_2 = t_2 - \frac{q}{\alpha_1}, \quad (3.22)$$

$$q = 342 \cdot 42,6 = 14569 \text{ Вт}/\text{м}^2,$$

$$t_{\text{ст.1}} = 31,5 + \frac{14569}{4056} = 35,0 \text{ }^\circ\text{C},$$

$$t_{\text{ст.2}} = 77,5 - \frac{14569}{502} = 48,5 \text{ }^\circ\text{C}.$$

Принятые и расчетные значения температур стенок незначительно отличаются друг от друга, поэтому расчет коэффициента теплопередачи закончен.

Расчет поверхности теплопередачи:

Расчетная поверхность теплообмена находится по формуле (3.6):

$$F_p = \frac{422240}{342 \cdot 44,5} = 27,8 \text{ м}^2.$$

Аппарат с $L = 4$ м имеет площадь поверхности теплообмена $31,0 \text{ м}^2$.

Запас площади поверхности теплообмена:

$$\frac{31 - 27,8}{27,8} 100 = 11,8 \text{ } \%$$

Запас площади поверхности теплообмена достаточен.

3.1.3 Обозначение теплообменного аппарата

1. Диаметр кожуха $D = 400$ мм по ГОСТ 9617-76.
2. Тип аппарата ТНГ – теплообменник с неподвижными трубными решетками горизонтальный.

						Лист
						34
изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

3. Условное давление в трубах и кожухе - 0,25 МПа.
4. Исполнение по материалу - М1.
5. Исполнение по температурному пределу -0-обыкновенное.
6. Диаметр трубы - 25 мм.
7. Состояние поставки наружной трубы - Г- гладкая.
8. Длина труб -4,0 м.
9. Схема размещения труб - Ш - по вершинам равносторонних треугольников.
10. Число ходов -2.

Группа исполнения - А.

Теплообменник: $\frac{400\text{ТКГ} - 0,25\text{М1} - 0}{25\text{Г} - 4\text{Ш} - 2}$ гр. А ГОСТ15122-79

3.2 Конструктивный расчет

Цель конструктивного расчета теплообменных аппаратов с трубчатой поверхностью теплообмена - расчет диаметров штуцеров и выбор конструкционных материалов для изготовления аппаратов, трубных решеток. Способ размещения и крепления в них теплообменных трубок и трубных решеток к кожуху; конструктивной схемы поперечных перегородок и расстояния между ними; распределительных камер, крышек и днищ аппарата; фланцев, прокладок и крепежных элементов; конструкции компенсирующего устройства, воздушников, отбойных щитков, опор и т.п.

3.2.1 Выбор конструкционных материалов для изготовления аппарата

Материал выбирают по рабочим условиям в аппарате: температуре, давлениям, химическим свойствам теплоносителей и др. При выборе материала пользуемся рекомендациями и ГОСТ 15199-79, 15120-79, 15121-79, в которых указаны материалы основных деталей в зависимости от группы материального исполнения.

Группа материального исполнения – М1. Материал: кожуха - 1Х21Н5Т ГОСТ 5632-87; распределительной камеры и крышки - 1Х21Н5Т ГОСТ 5632-87; трубы - сталь 1Х21Н5Т ГОСТ 5632-87.

						Лист
						35
изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

3.2.2 Выбор трубных решеток, способ размещения и крепления в них теплообменных труб и трубных решеток к кожуху

Трубные решетки изготавливаются обычно цельными, вырезкой из листа. Для каждого крепления трубок в трубной решетке ее толщина $S_{p(\min)}$ должна быть не менее

$$S_{p(\min)} = \frac{d_n}{8} + e, \quad (3.23)$$

где $e = 5$ - прибавка для стальных трубных решеток, мм;

$d_n = 25$ мм - наружный диаметр теплообменных трубок.

$$S_{p(\min)} = \frac{25}{8} + 5 = 8 \text{ мм}.$$

Толщину трубной решетки выбираем в зависимости от диаметра кожуха аппарата и условного давления в аппарате, $S_p = 18$ мм.

Размещение отверстий в трубных решетках, их шаг регламентируется для всех теплообменников ГОСТ 9929-82.

Определяем шаг при размещении труб по вершинам равносторонних треугольников: при $d_n = 25$ мм, $t = 32$ мм; отверстия под трубы в трубных решетках и перегородках размещают в соответствии с ГОСТ 15118-79.

Основные размеры для размещения отверстий под трубы 25x2 мм в трубных решетках выбираем диаметр предельной окружности, за которой не располагают отверстия под трубы, - $D_0 = 387$ мм, $2R = 383$ мм.

Число отверстий под трубы в трубных решетках и перегородках по рядам:

0 ряд 11; 1 ряд 12; 2 ряд 11; 3 ряд 10; 4 ряд 9; 5 ряд 8.

Общее число труб в решетке – 111 шт.

Отверстия в трубных решетках выполняем гладкими. По ГОСТ 15118-79 под трубы с наружным диаметром 25 мм установлен диаметр 25,5 мм.

Крепление труб в трубной решетке должно быть прочным, герметичным и обеспечивать их легкую замену. Применяем для крепления труб способ развальцовки с последующей отбортовкой (рис. 3.1).

						Лист
						36
изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

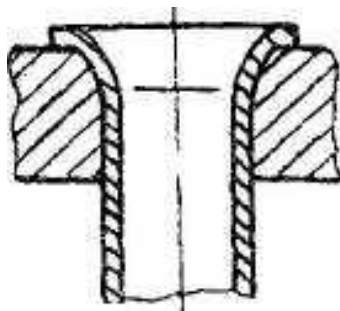


Рисунок 3.1 – Крепление труб в трубной решетке развальцовкой с отбортовкой

Конец трубы, вставленной с минимальным зазором в отверстие трубной решетки, расширяется изнутри раскаткой роликами специального инструмента, называемого вальцовкой.

В соответствии с ГОСТ 26291-94 принимаем толщину стенки корпуса 6 мм.

$$\sigma_{\text{доп}} = \sigma \cdot \eta = 124 \cdot 0,1 = 12,4 \text{ МПа} \text{ -допускаемое напряжение;}$$

$$S = 0,25 \cdot 0,8 \cdot (2 \cdot 1 \cdot 12,4 - 0,25) = 4,9 \text{ мм}$$

Принимаем толщину обечайки $S = 5 \text{ мм}$.

3.2.3 Выбор конструктивной схемы поперечных перегородок и расстояния между ними

Применяем внутренние поперечные перегородки с диаметрально чередующимися в них сегментными средами для поддержания расстояния между трубами (рис. 3.2).

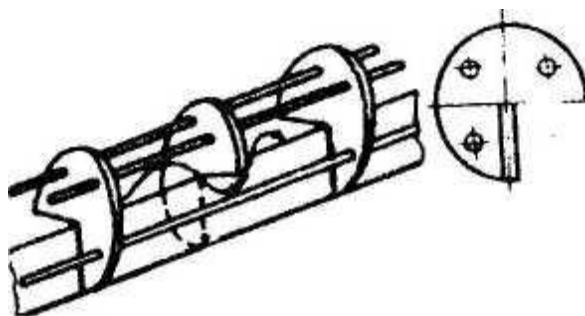


Рисунок 3.2 – Конструктивная схема поперечных перегородок

Диаметр отверстий для труб в перегородках 28 мм (ГОСТ 15118-79).
Номинальный диаметр поперечных перегородок.

Неподвижные трубные решетки занимают место во впадинах фланцев корпуса и крышек (рисунок 3.3)

					Лист
изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	

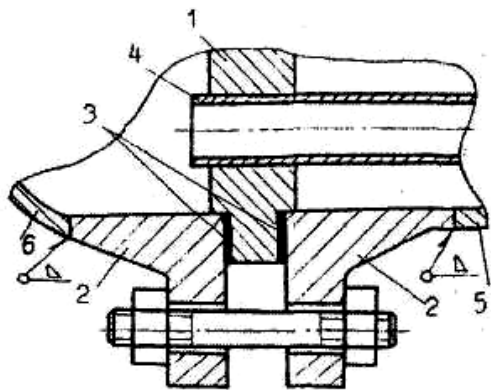


Рисунок 3.4 – Узел крепления неподвижной трубной решетки: 1 – решетка трубная; 2 – фланец; 3 – площадка; 4 – трубка теплообменная; 5 – крышка

Исполнительная толщина стенки обечайки:

$$S = p_{\text{расч.}} \cdot D_{\text{вн}} (2\varphi\sigma_{\text{доп}} - p_{\text{расч.}}) + c + c_1, \quad (3.24)$$

где $p_{\text{расч}} = 0,25$ МПа- расчетное давление;

$\varphi = 1,0$ - коэффициент прочности сварного шва по ГОСТ 14249-80;

$c = 0$ - прибавка на коррозию;

c_1 - дополнительная прибавка к расчетным величинам, принимается по технологическим монтажным соображениям или для округления размеров, $D_n = 397$ мм.

Расстояние между перегородками принимаем равным 425 мм.

Взаимное расположение поперечных перегородок фиксируют несколькими стяжками между ними. Стяжки придают пучку жесткость и дополнительную прочность, обеспечивают удобства его сборки. Они представляют собой тяги из круглого прутка, пропущенные через отверстия перегородок и трубных решеток.

В промежутке между перегородками надеты распорные трубки. Число стяжек принимаем в зависимости от диаметра аппарата: диаметр стяжек – 12; число стяжек – 6.

3.2.4 Выбор распределительной камеры, крышки и днища аппарата

Распределительная камера направляет поток рабочей среды по теплообменным трубкам.

Высота обечайки распределительной камеры зависит от диаметра фланцев штуцеров распределительной камеры и рассчитывается по формуле

$$H = D_{\phi} + (1...3)h, \quad (3.25)$$

						Лист
						38
изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

где D_{ϕ} – диаметр фланца штуцера распределительной камеры, м;

h – высота фланца штуцера на обечайке распределительной камеры, м.

$D_{\phi} = 100$ мм, $h = 13$ мм, тогда по формуле (3.25).

$H = 100 + 2 \cdot 13 = 126$ мм.

Крышки и днища теплообменных аппаратов выбираем в зависимости от диаметра кожуха. Наиболее распространенной формой днищ и крышек является эллиптическая форма с отбортовкой на цилиндр (рис. 3.5).

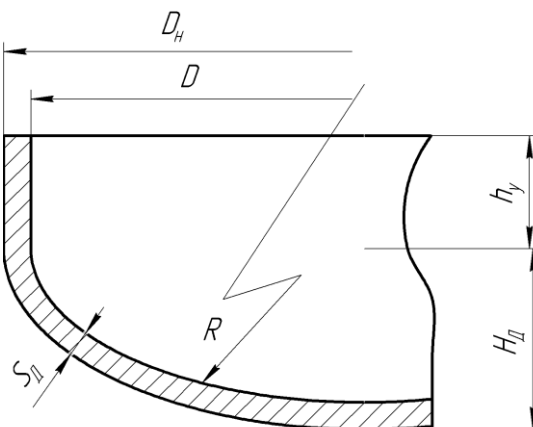


Рисунок 3.5 – Днище цилиндрическое отбортованное

Выбираем размеры днища эллиптического отбортованного стального диаметром 400 мм: $S_d = 6$ мм, $H_d = 200$ мм, $h_y = 25$ мм,

Днище 400×6 ГОСТ 6533-78

Выбранное днище используем для изготовления входной и выходной крышек аппарата.

3.2.5 Расчет диаметров штуцеров, выбор фланцев, прокладок и крепежных элементов

Присоединение трубопроводов к теплообменным аппаратам бывает разъемным и неразъемным. Разъемное присоединение труб осуществляется при помощи фланцевых резьбовых штуцеров. При диаметре трубопроводов более 10 мм применяют фланцевые штуцеры.

Диаметр штуцера зависит от расхода и скорости теплоносителя

$$V = w \cdot S, \quad (3.26)$$

где V - объемный расход теплоносителя, $\frac{\text{м}^3}{\text{с}}$;

						Лист
						39
изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

w – скорость движения теплоносителя в штуцере, $\frac{м}{с}$;

$S = \frac{\pi d_{шт}^2}{4}$ – площадь поперечного сечения штуцера, $м^2$.

Скорости движения теплоносителей в штуцерах выбирают, принимая их несколько большими, чем в аппарате.

Диаметр штуцера:

$$d_{шт} = \sqrt{\frac{4V}{w\pi}}, м. \quad (3.27)$$

Диаметр штуцеров для входа и выхода воды рассчитаем, принимая скорость движения воды в штуцерах равной 3,5 м/с.

Тогда

$$d_{шт} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,06}{3,5 \cdot 3,14}} = 0,147 \text{ м.}$$

$$d_{шт} = \sqrt{\frac{4 \cdot 14,4}{3,5 \cdot 10^{-3} \cdot 3,14 \cdot 996}} = 0,142.$$

Принимаем $d_{шт} = 150$ мм.

Диаметр штуцеров для входа и выхода серной кислоты, расход которых 8 кг/с.

Тогда, принимая скорость серной кислоты в штуцере 0,5 м/с,

$$d_{шт} = \sqrt{\frac{4 \cdot 8}{0,5 \cdot 3,14 \cdot 1782}} = 0,106.$$

Принимаем $d_{шт} = 100$ мм.

Принимаем штуцера со стальными плоскими приварными фланцами с соединительным выступом по ГОСТ 1255-67 (тип 1 – рис. 3.6).

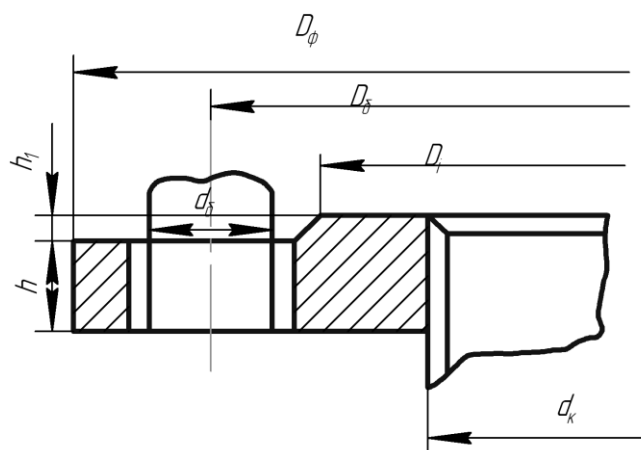


Рисунок 3.6 – Фланец для штуцеров

						Лист
						40
изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

То выбираем по D_y и $p_y = 0,25$ МПа. Основные размеры фланцев:

Фланец штуцера для серной кислоты – фланец 100-3 ГОСТ 1255-67:

$D_y = 100$ мм, $D_6 = 160$ мм, $D_\phi = 190$ мм, $h = 13$ мм, $d_6 = 12$ мм, $z = 4$ шт.

Фланцы штуцеров для ввода и вывода воды – фланец 150-3 ГОСТ 1255-67:

$D_y = 150$ мм, $D_6 = 225$ мм, $D_\phi = 260$ мм, $h = 13$ мм, $d_6 = 16$ мм, $z = 8$ шт.

Для присоединения крышек к корпусу аппарата используем тип 2 диаметром 400 мм (рис. 3.7).

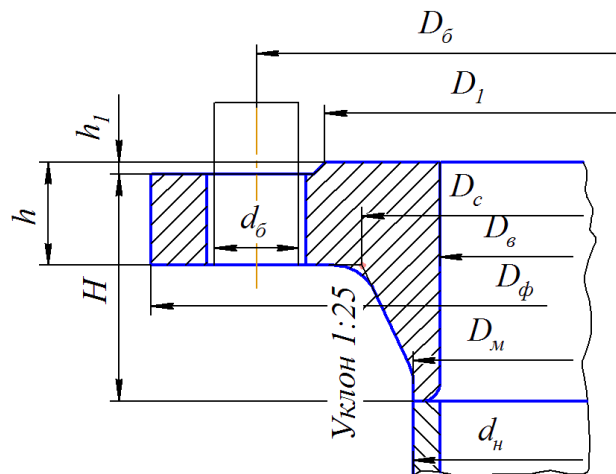


Рисунок 3.7 – Фланец для аппарата

Выбираем основные размеры фланцев для аппарата: фланец 4-400-3 ГОСТ 12830-67:

$D_y = 400$ мм, $D_6 = 495$ мм, $D_\phi = 535$ мм, $h = 16$ мм, $H = 60$ мм, $d_6 = 20$ мм, $z = 16$ шт.

3.2.6 Проверка необходимости установки компенсирующего устройства

Жесткое крепление трубных решеток к корпусу аппарата и труб в трубной решетке обуславливает возникновение температурных усилий в трубах и корпусе (кожухе) при различных температурах их направления и может привести к нарушению развальцовки труб в решетках, продольному изгибу труб и другим неблагоприятным явлениям.

В случае если трубы нагреваются сильнее, чем кожух, они становятся длиннее кожуха и давят на трубные решетки, стремясь удлинить и сам корпус (кожух). Если напряжения, возникающие при этом в материале трубок и кожуха, превышают допустимые,

						Лист
						41
изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

то появляется необходимость установки компенсирующего устройства (линзы, плавающей головки и т.п.).

Допускаемая разность температур кожуха и труб (не требующая установки компенсирующего устройства) при давлении $P_y < 1,6$ МПа составляет 60 °С. Для рассматриваемого теплообменного аппарата температуру стенки трубок принимаем равной полусумме температуры серной кислоты и средней температуры воды, а минимальная температура кожуха может быть принята равной температуре вода. Тогда разность температур составит:

$$77,5 - 31,5 = 46 \text{ °С} < 60 \text{ °С}$$

следовательно, необходимость установки компенсирующего устройства отпадает.

3.2.7 Опоры аппарата

Горизонтальные аппараты устанавливают на седловых опорах. Все они стандартизированы. Выбираем опору для аппарата исполнением 1 с двумя отверстиями под фундаментный болт.

Выбираем седловую опору типа ОГ с $D_e = 400$ мм на нагрузку $0,11$ Мн: «Опора ОГ-I-400-77 МН 5131-63» и ее основные размеры.

$L = 450$ мм, $l = 240$ мм, $B = 180$ мм, $H = 240$ мм, $A = 330$ мм, $A_1 = 90$ мм,

$A_2 = 55$ мм, $R = 213$ мм, $s = 16$ мм, $m = 15,5$ кг.

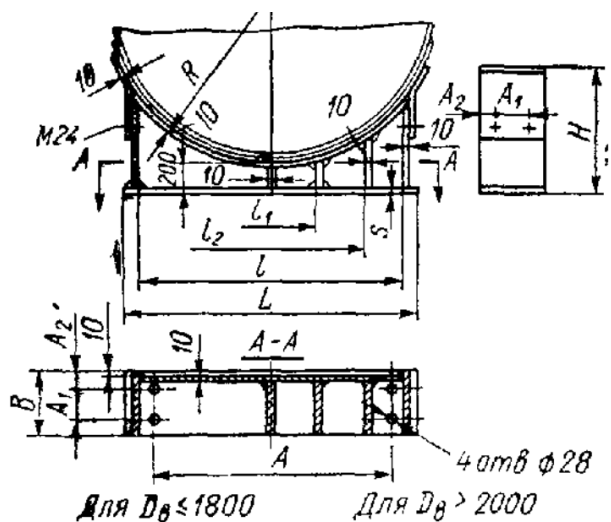


Рисунок 3.8 – Седловая опора

					Лист
					42
изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	

4 МЕХАНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ

Расчет на прочность теплообменного аппарата. В основу расчета положены методы и нормы расчета на прочность тонкостенных аппаратов применяемых в нефтехимической промышленности. Исходные данные:

Рабочее давление: 0,2 МПа;

Расчетное внутреннее избыточное давление: 0,4 МПа

Температура: 100 °С.

Среда: сильно коррозионная;

масса аппарата порожнего: 980 кг;

масса аппарата при гидравлическом испытании: 1420 кг;

Диаметр: $D = 0,4$ м;

Материал аппарата сталь 1Х21Н5Т ГОСТ 5632-87;

Длина аппарата: 5180 мм;

Объём: $0,6 \text{ м}^3$.

4.1 Расчет толщины стенки нагруженной внутренним давлением

Расчет толщины стенки верхней цилиндрической обечайки. $D_1=400$ м

$$S_p = \max \left\{ \begin{array}{l} P_p \times D / (2\phi[\sigma] - P_p) \\ P_p \times D / (2\phi[\sigma]_k - P_k) \end{array} \right\} \quad (4.1)$$

$$S = S_p + c + c_0, \quad (4.2)$$

где S_p – расчетная толщина стенки, мм;

S – исполнительная толщина стенки цилиндрической обечайки, мм;

$P_p = 0,4$ МПа;

D – внутренний диаметр, 400 мм;

ϕ – коэффициент прочности сварного соединения, 0,95 [7, с. 13];

$[\sigma]$ – допускаемое напряжение для рабочего состояния, МПа;

					ФЮРА			
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата				
Разраб.		Михайлова Г.Р.			Механический расчет	Лит.	Лист	Листов
Руковод.		Горлушко Д.А.					43	19
Консульт.						ИШПНТ ТПУ Группа: 3-4Г61		
Н. контр.								
Рук-ль ООП		Беляев В.М						

$$[\sigma] = \eta \cdot \sigma^* , \quad (4.3)$$

где η – поправочный коэффициент для листового проката, 1 [7, с. 10]

σ^* - нормативное допускаемое напряжение при $t = 100^\circ\text{C}$;

$\sigma^* = 98 \text{ МПа}$.

$$[\sigma] = 1 \cdot 98 = 98 \text{ МПа}$$

$P_{\text{и}}$ – максимальное избыточное давление при гидравлических испытаниях, МПа.

$$P_{\text{и}} = \max 1,5 \cdot P \cdot \sigma_{20/[\sigma]0,2} \quad (4.4)$$

где $[\sigma]_{20}$ – допускаемое напряжение для стали 20К при температуре

$t = 20^\circ\text{C}$, МПа;

$$[\sigma]_{20} = 140 \text{ МПа}$$

$$P_{\text{и}} = \max 1,5 \cdot 0,4 \cdot 140 \cdot 98 = 0,857 \text{ МПа} \quad 0,4 \text{ МПа} \rightarrow P_{\text{и}} = 0,857 \text{ МПа}$$

где $[\sigma]_{\text{и}}$ - допускаемое напряжение при гидравлических испытаниях, МПа.

$$[\sigma]_{\text{и}} = [\sigma]_{\text{T}20} / 1,2 \quad (4.5)$$

где $[\sigma]_{\text{T}20}$ - минимальное значение предела текучести при $t = 20^\circ\text{C}$;

$$[\sigma]_{20} = 220 \text{ МПа}$$

$$[\sigma]_{\text{и}} = 220 / 1,2 = 183,3 \text{ МПа}$$

c - прибавка для компенсации коррозии, 1,5 мм [7, с. 10]

c_0 - прибавка для округления расчетной толщины стенки до номинальной толщины по стандарту, мм.

Тогда:

$$S_p = \max 0,4 \cdot 400 / (2 \cdot 0,95 \cdot 98 - 0,4) = 3,9 \text{ мм}$$

$$0,86 \cdot 400 / (2 \cdot 0,95 \cdot 183,3 - 0,86) = 2,5 \text{ мм} \rightarrow S_p = 4,5 \text{ мм}$$

$$S = 2,5 + 1,5 + 1 = 5 \text{ мм}$$

Принимаем 6 мм

Так как $(S-c)/D \leq 0,1$; $((6 - 1,5) / 400 = 0,005 < 0,1)$ - условие применимости формул выполняется. Таким образом, при толщине стенки

$S = 6 \text{ мм}$ обеспечивается прочность цилиндрической обечайки как в рабочем состоянии, так и при гидравлических испытаниях.

Расчет толщины стенки для эллиптического днища

$$S_p = \max \left\{ \begin{array}{l} P_p \cdot x / (2\phi[\sigma] - P_p) \\ P_p \cdot x / (2\phi[\sigma]_k - P_k) \end{array} \right\} \quad (4.6)$$

$$S_N = S_{\text{NP}} + c + c_0 \quad (4.7)$$

						Лист
						44
изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

где S_{NP} - расчетная толщина стенки сферического днища;

S_c - исполнительная толщина стенки сферического днища, мм;

D_c - внутренний диаметр сферического днища, 400 мм;

$$S_{CP} = \max 0,4 \cdot 400 / (4 \cdot 0,95 \cdot 98 - 0,2) = 1,23 \text{ мм}$$

$$0,86 \cdot 400 / (4 \cdot 0,95 \cdot 183,3 - 0,43) = 1,8 \text{ мм}$$

$$S_p = 1,8 \text{ мм}$$

$$S_c = 1,8 + 1,5 + 1 = 4,3 \text{ мм}$$

Принимаем 6 мм

Так как $(S_c - c)/D \leq 0,1$; $((6 - 1,5) / 400 = 0,006 < 0,1)$ - условие применимости формул выполняется. Таким образом, при толщине стенки $S_c = 6$ мм обеспечивается прочность эллиптического днища как в рабочем состоянии, так и при гидравлических испытаниях.

4.2 Допускаемое внутреннее давление

Допускаемое внутреннее давление для цилиндрической обечайки верхнего корпуса.

В рабочем состоянии:

$$[P] = \frac{2\varphi[\sigma]x(S - c)}{(D + S - c)} \quad (4.8)$$

$$[P] = (2 \cdot 0,95 \cdot 98 \cdot (6 - 1,5)) / (400 + 6 - 1,5) = 1,96 \text{ МПа}$$

При испытаниях:

$$[P]_{и} = \frac{2\varphi[\sigma]_{и} x(S - c)}{(D + S - c)} \quad (4.9)$$

$$[P]_{и} = (2 \cdot 0,95 \cdot 183,3 \cdot (6 - 1,5)) / (600 + 6 - 1,5) = 4,00 \text{ МПа}$$

Так как $P_p < [P]$, т.е. $0,2 \text{ МПа} < 1,96 \text{ МПа}$ и $P_{и} < [P]_{и}$ ($1,96 \text{ МПа} < 4 \text{ МПа}$) обеспечивается прочность цилиндрической обечайки как в рабочем состоянии, так и при гидравлических испытаниях.

Допускаемое внутреннее давление эллиптического днища.

В рабочем состоянии:

$$[P] = \frac{4\varphi[\sigma]x(S_c - c)}{(D_c + S_c - c)} \quad (4.10)$$

$$[P] = (4 \cdot 0,95 \cdot 98 \cdot (6 - 1,5)) / (400 + 10 - 1,5) = 4,1 \text{ МПа}$$

При испытаниях:

						Лист
						45
изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$[P]_{и} = \frac{4\varphi[\sigma]_{и} \times (S_c - c)}{(D_c + S_c - c)} \quad (4.11)$$

$$[P]_{и} = (4 \cdot 0,95 \cdot 183,3 \cdot (10 - 1,5)) / (400 + 10 - 1,5) = 8,0 \text{ МПа}$$

Так как $P_p < [P]$, т.е. $0,2 \text{ МПа} < 4,1 \text{ МПа}$ и $P_{и} < [P]$ и $(4,1 \text{ МПа} < 8 \text{ МПа})$ обеспечивается прочность эллиптического днища как в рабочем состоянии, так и при гидравлических испытаниях.

4.3 Укрепление отверстий

Корпус аппарата снабжается необходимым количеством штуцеров для подключения его к технологическим линиям. Отверстия не только уменьшают несущую площадь материала корпуса, механически ослабляя конструкцию, но и вызывают высокую концентрацию напряжений вблизи края отверстия.

Как показывают эксперименты, максимальные напряжения быстро уменьшаются по мере удаления от края отверстия, то есть прирост напряжений носит локальный характер. Таким образом, при проектировании аппаратуры необходимо решать задачу о снижении повышенных напряжений в области отверстий до допустимых значений за счет компенсации ослабления, вызванного наличием выреза.

Компенсация ослабления может производиться двумя способами:

увеличением толщины стенки всей оболочки исходя из максимальных напряжений у края отверстия;

укреплением края отверстия добавочным материалом, вводимым по возможности ближе к месту распределения максимальных напряжений.

Первый способ применяется очень редко и не может быть признан рациональным, так как область повышенных напряжений незначительна и ограничивается диаметром:

$$d_H \approx d + 2\sqrt{D_p(S - c)}; \quad (4.12)$$

где d – диаметр отверстия, м;

D_p – расчетный диаметр оболочки, м.

В расчетной практике широкое распространение получил так называемый геометрический критерий укрепления, предусматривающий компенсацию площади продольного сечения выреза с помощью дополнительных укрепляющих элементов

						Лист
						46
изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

(дополнительной толщины стенки штуцера, накладного кольца и так далее), расположенных в зоне укрепления (рисунок 3.9).

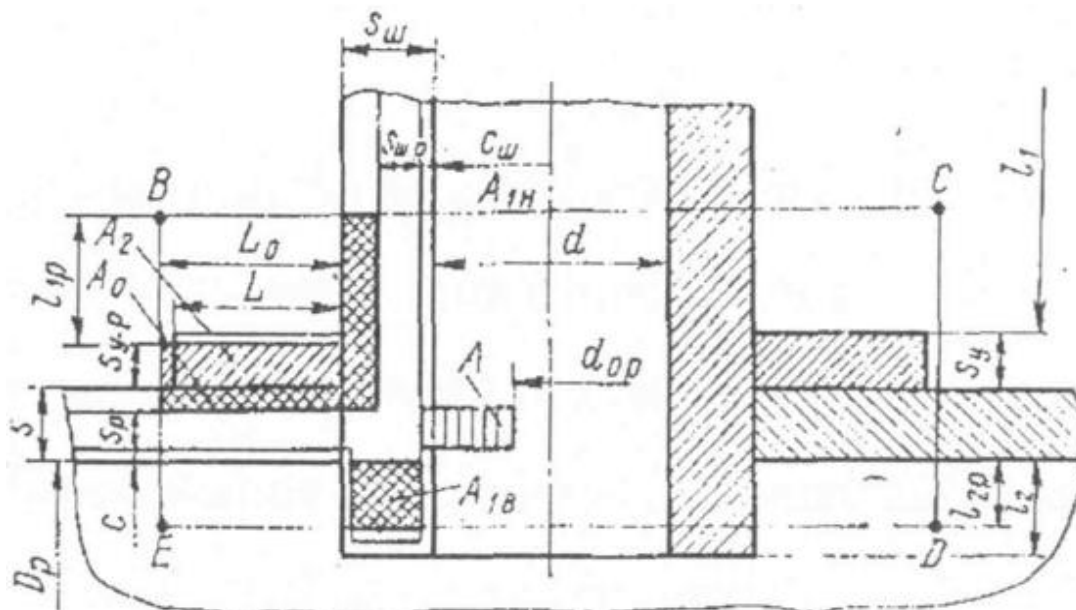


Рисунок 3.9 – К расчету укрепления отверстий

Расчетный диаметр укрепляемого элемента цилиндрической оболочки определяется:

$$D_p = D = 4,5 \quad (i)$$

Расчетный диаметр отверстия, для отверстия в стенке оболочки при наличии штуцера, ось которого совпадает с нормалью к поверхности в центре отверстия или круглого отверстия без штуцера:

$$d_p = d + 2 \cdot c_{ш} = 0,15 + 2 \cdot 0,0015 = 0,153 \text{ (м)},$$

где $c_{ш}$ – прибавка к расчетной толщине стенки штуцера, м.

Расчетный диаметр одиночного отверстия, не требующего дополнительного укрепления, при наличии избыточной толщины стенки укрепляемого элемента (обечайки, перехода, днища) определяют по уравнению

$$d_0 = 2 \cdot \left(\frac{S-c}{S_p} - 0,8 \right) \cdot \sqrt{D_p \cdot (S-c)}; \quad (4.13)$$

$$d_0 = 2 \cdot \left(\frac{0,008 - 0,0015}{0,00529} - 0,8 \right) \cdot \sqrt{4,5 \cdot (0,008 - 0,0015)} = 0,112 \text{ (м)}$$

где S – исполнительная толщина стенки укрепляемого элемента, м;

S_p – расчетная толщина стенки укрепляемого элемента, м.

					Лист
					47
изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	

Так как $d_p > d_0$, то требуется дальнейший расчет укрепления отверстия.

Условие укрепления отверстия штуцером, стенкой аппарата, накладным кольцом имеет вид:

$$(F_1 + F_2) \cdot \chi_1 + F_{об} + F_K \cdot \chi_2 \geq F; \quad (4.14)$$

где $F_1; F_2$ – площадь продольного сечения соответственно внешней и внутренней частей штуцера, участвующей в укреплении, м²;

$F_{об}$ – площадь продольного сечения оболочки, участвующей в укреплении, м;

F_K – площадь продольного сечения накладного кольца в зоне укрепления, м;

F – площадь продольного сечения выреза, подлежащая компенсации, м².

$\chi_1 = \frac{|\sigma|_{ш}}{|\sigma|}; \chi_2 = \frac{|\sigma|_K}{|\sigma|}$ – соответственно отношение допускаемого напряжения материала штуцера и накладного кольца к допускаемому напряжению материала укрепляемой оболочки.

$$\chi_1 = \chi_2 = \frac{157,6}{157,6} = 1$$

Площадь продольного сечения внешней части штуцера:

$$F_1 = l_{1p} \cdot (S_{ш} - S_{шп} - c_{ш}) \chi; \quad (4.15)$$

где $S_{ш}$ – исполнительная толщина стенки штуцера, м;

$S_{шп}$ – расчетная толщина стенки штуцера, м;

l_{1p} – расчетная длина внешней части штуцера, м;

c – прибавка к расчетной толщине стенки штуцера, м.

Расчетная длина внешней части штуцера:

$$l_{1p} = \min \left\{ l_1; 1,25 \cdot \sqrt{(d + 2 \cdot c_{ш}) \cdot (S_{ш} - c_{ш})} \right\} \quad (4.16)$$

$$l_{1p} = \min \{ 0,14; 1,25 \cdot \sqrt{(0,15 + 2 \cdot 0,0015) \cdot (0,008 - 0,0015)} \}$$

где $l_1 = 0,14$ м – фактическая длина внешней части штуцера.

$$l_{1p} = \min \{ 0,14; 0,171 \}$$

$$l_{1p} = 0,171 \text{ (м)}.$$

$$F_1 = 0,171 \cdot (0,03 - 0,028 - 0,0013) \cdot 1 = 0,0001197 \text{ (м}^2\text{)}.$$

Площадь продольного сечения внутренней части штуцера:

$$F_2 = l_{2p} \cdot (S_{ш} - 2 \cdot c_{ш}) \cdot \chi_1.$$

						Лист
						48
изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Расчетная длина внутренней части штуцера:

$$l_{2p} = \min \{ l_2; 0.5 \cdot \sqrt{(d + 2 \cdot c_{ш}) \cdot (S_1 - 2c_{ш})} \}; \quad (4.17)$$

$$l_{2p} = \min \{ 0.014; 0.5 \cdot \sqrt{(0.12 + 2 \cdot 0.0012) \cdot (0.03 - 2 \cdot 0.0015)} \};$$

где $l_2 = 0$, (– фактическая длина внешней части штуцера.

$$l_{2p} = \min \{ 0.025; 0.066 \}$$

$$l_{2p} = 0.015(\text{м}).$$

$$F_{ОБ} = 0.025 \cdot (0.03 - 2 \cdot 0.0015) \cdot 1 = 0.000685(\text{м}^2).$$

Площадь продольного сечения оболочки, участвующей в укреплении:

$$F_{ОБ} = b_{1p} \cdot (S - S_p - c); \quad (4.18)$$

Расчетная ширина зоны укрепления

$$b_{1p} = \min \{ L_H; L_0 \} \quad (4.19)$$

где $L_H = 0,3 \text{ м}$ – расстояние от наружной стенки штуцера до ближайшего несущего конструктивного элемента на укрепляемой оболочке (кольца жесткости, трубной решетки, опоры).

Ширина зоны укрепления в оболочках определим по выражению

$$L_0 = \sqrt{D_p \cdot (S - c)} = \sqrt{0.4 \cdot (0.006 - 0.0015)} = 0.101(\text{м});$$

$$b_{1p} = \min \{ 0.15; 0.101 \};$$

$$b_{1p} = 0.101(\text{м}).$$

$$F_{ОБ} = 0.101 \cdot (0.0083 - 0.00529 - 0.0013) = 0.00024(\text{м}).$$

Площадь продольного сечения накладного кольца в зоне укрепления

$$F_K = b_{2p} \cdot S_K \cdot \chi_2,$$

где b_{2p} – расчетная ширина накладного кольца, м;

S_K – толщина накладного кольца, равная $(0.8 \div 1)$ исполнительной толщины стенки укрепляемого элемента, м.

Расчетная ширина накладного кольца:

$$b_{2p} = \min \{ b_2; 0.5 \cdot \sqrt{D_p \cdot (S_K + S - c)} \}; \quad (4.20)$$

где $b_2 = 0,2 \text{ м}$ – фактическая ширина накладного кольца.

$$b_{2p} = \min \{ 0.15; 0.101 \} \quad b_{2p} = 0.101(\text{м}) \quad F_K = 0.101 \cdot 0.006 \cdot 1 = 0.00062(\text{м}^2).$$

						Лист
						49
изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Площадь продольного сечения выреза, подлежащая компенсации определяется по уравнению $F = 0,5 \cdot (d_0 - d_{OP}) \cdot S_p$,

где: $d_{OP} = 0,4 \cdot \sqrt{D_p \cdot (S - c)}$ – расчетный диаметр отверстия, не требующего укрепления, при отсутствии избыточной толщины аппарата

$$d_{OP} = 0,4 \cdot \sqrt{0,4 \cdot (0,008 - 0,0015)} = 0,045(\text{м}).$$

$$F_K = 0,5 \cdot (0,10 - 0,045) \cdot 0,00529 = 0,00095(\text{м}^2).$$

Тогда условие укрепления отверстия штуцером, стенкой аппарата, накладным кольцом примет вид:

$$(0,000119 + 0,000685) \cdot 1 + 0,00024 + 0,00092 \cdot 1 \geq 0,000095$$

$$0,000920 > 0,000195.$$

4.4 Нормативный расчет на прочность элементов кожухо-трубных теплообменников

Расчет вспомогательных характеристик. Рассчитаем по п. 5.2.1 [13, с. 11, 12] вспомогательные геометрические характеристики и характеристики жесткости системы «кожух — трубки — трубные решетки»:

$$m_n = \frac{a}{a_1}; \quad (4.21)$$

внутренний радиус кожуха

$$a = 200 \text{ мм};$$

радиус перфорированной части трубной решетки a_1 определим графически по чертежу, $a_1 = 178$ мм. Тогда

$$m_n = \frac{200}{178} = 1,12$$

Коэффициенты влияния давления на трубную решетку:

$$\eta_m = 1 - \frac{id_r^2}{4a_1^2}, \quad (4.22)$$

$$\eta_r = 1 - \frac{i(d_r - 2s_r)^2}{4a_1^2}, \quad (4.23)$$

$$\eta_m = 1 - \frac{100 \cdot 25^2}{4 \cdot 178^2} = 0,51$$

						Лист
						50
изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$\eta_{\tau} = 1 - \frac{100 \cdot 21^2}{4 \cdot 178^2} = 0,65$$

Модуль упругости системы труб:

$$K_y = \frac{E_{\tau}(\eta_{\tau} - \eta_{\text{м}})}{l}, \quad (4.24)$$

$$K_y = \frac{2,05 \cdot 10^{11} (0,65 - 0,51)}{2} = 0,14 \cdot 10^{11} \text{ Н/м}^3$$

Приведенное отношение жесткости труб к жесткости кожуха:

$$\rho = \frac{K_y a_1 l}{E_{\kappa} s_{\kappa}}, \quad (4.25)$$

$$\rho = \frac{0,14 \cdot 10^{11} \cdot 0,178 \cdot 2}{2,05 \cdot 10^{11} \cdot 0,006} = 4,05$$

Поскольку компенсаторы на нашем конденсаторе отсутствуют,

$$K_p = K_q = 1.$$

Коэффициент системы «решетка — трубы» вычислим по уравнению

$$\beta = \frac{1,82}{s_p} \sqrt[4]{\frac{K_y s_p}{\psi_0 E_p}}, \quad (4.26)$$

толщина решетки, согласно исходным данным, принята 18 мм. Коэффициент жесткости трубной решетки ψ_0 примем по табл. Б.1 прил. Б по вычисленному ранее значению $\eta_{\tau} - \psi_0 = 0,33$ [13, с. 40]. Тогда по уравнению (4.26)

$$\beta = \frac{1,82}{0,018} \sqrt[4]{\frac{4,05 \cdot 0,018}{0,33 \cdot 2,05 \cdot 10^{11}}} = 35,39 \text{ 1/м}$$

Безразмерный параметр системы «решетка — трубы»

$$\omega = \beta a_1, \quad (4.27)$$

$$\omega = 35,39 \cdot 0,178 = 6,30$$

Также по прил. Б [13] рассчитаем коэффициент ослабления трубной решетки отверстиями под трубки:

$$\varphi_p = 1 - \frac{d_0}{t_p}, \quad (4.28)$$

$$\varphi_p = 1 - \frac{25}{32} = 0,22$$

						Лист
						51
изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

В дальнейшем для определения приведенной нагрузки на фланцы теплообменной камеры нам потребуются коэффициент жесткости фланцевого соединения при изгибе и коэффициенты системы «кожух — решетка». Рассчитаем данные величины по прил. В [13, с. 41]. В нашем случае расчет несколько упростится из-за того, что теплообменная камера и соединенные с ней приемная и отводная камеры охлаждающей воды имеют фланцы одинаковой конструкции, вследствие чего $\beta_1 = \beta_2$, $K_1 = K_2$, $K_{\phi 1} = K_{\phi 2}$.

Коэффициент системы «кожух — решетка»

$$\beta_1 = \frac{1,3}{\sqrt{as_1}}, \quad (4.29)$$

$$\beta_1 = \frac{1,3}{\sqrt{0,2 \cdot 0,006}} = 64,50 \text{ 1/м}$$

Коэффициент жесткости втулки фланца

$$K_1 = \frac{\beta_1 a E_k s_k^3}{5,5 R_1}, \quad (4.30)$$

где R_1 - радиус центра тяжести тарелки фланца, м;

$$R_1 = \frac{D_n + D}{4}, \quad (4.31)$$

где D_n — наружный диаметр фланца, м.

Наружный диаметр принятого нами фланца составляет 535 мм [Раздел 3.2.5], тогда

$$R_1 = \frac{535 + 412}{4} = 237 \text{ мм}$$

$$K_1 = \frac{64,5 \cdot 0,2 \cdot 2,05 \cdot 10^{11} \cdot 0,006^3}{5,5 \cdot 0,237} = 438214 \text{ Н} \cdot \text{м/м}$$

Коэффициент жесткости фланца

$$K_{\phi 1} = \frac{E h_1^3 b_1}{12 R_1^2} + K_1 \left(1 + \frac{\beta_1 h_1}{2} \right), \quad (4.32)$$

где h_1 — толщина тарелки (кольца) фланца, м; b_1 — ширина тарелки (кольца) фланца, м.

Ширину тарелки фланца рассчитаем по уравнению

$$b_1 = \frac{D_n - D}{2}, \quad (4.33)$$

$$b_1 = \frac{535 - 412}{2} = 62 \text{ мм}$$

						Лист
						52
изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Тогда по уравнению (4/33)

$$K_{\phi 1} = \frac{2,05 \cdot 10^{11} \cdot 0,018^3 \cdot 62}{12 \cdot 0,237} + 438214 \left(1 + \frac{64,5 \cdot 0,018}{2} \right) = 26756141 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Коэффициент жесткости фланцевого соединения

$$K_{\phi} = K_{\phi 1} + K_{\phi 2}, \quad (4.34)$$

$$K_{\phi} = 26756141 + 26756141 = 53512283 \text{ Н} \cdot \text{м/м}$$

Отметим, что в ГОСТ 34233.7–2017 размерность коэффициентов жесткости K_1 , K_2 , $K_{\phi 1}$, $K_{\phi 2}$ и K_{ϕ} приведена с опечаткой. Правильная размерность этих коэффициентов $\text{Н} \cdot \text{м/м}$ или (формально) Н .

4.5 Расчет усилий в элементах теплообменной камеры

Результирующую нагрузку на трубную решетку рассчитывают по уравнению [13, с. 12]

$$p_0 = [\alpha_x (t_x - t_0) - \alpha_t (t_t - t_0)] l K_y + \\ + [\eta_t - 1 + m_{cp} + m_n (m_n + 0,5 \rho K_q)] p_t - \\ - [\eta_m - 1 + m_{cp} + m_n (m_n + 0,3 \rho K_p)] p_m, \quad (4.35)$$

$$m_{cp} = 0,15 \frac{i (d_t - s_t)^2}{a_1^2}. \quad (4.36)$$

Ранее отмечалось, что равновесие системы «кожух – трубки – трубные решетки» определяется разностью деформаций трубок и кожуха под действием температурных нагрузок и разности давлений в трубном и межтрубном пространствах.

Уравнение (4.35) отражает физический смысл данного равновесия: в правой части уравнения (4.35) первое слагаемое соответствует приведенной нагрузке, вызванной перепадом температур, второе и третье слагаемые — приведенной нагрузке, возникающей в результате разности давлений в трубном и межтрубном пространствах.

$$m_{cp} = 0,15 \cdot \frac{100 \cdot (0,025 - 0,002)^2}{0,178^2} = 0,25$$

						Лист
						53
изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$p_0 = [1,6 \cdot 10^{-6}(95 - 20) - 1,6 \cdot 10^{-6}(30 - 20)] \cdot 2 \cdot 0,14 \cdot 10^{11} + \\ + [0,65 - 1 + 0,25 + 1,12(1,12 + 0,5 \cdot 4,05 \cdot 1)] \cdot 0,4 \cdot 10^6 - \\ - [0,51 - 1 + 0,25 + 1,12(1,12 + 0,3 \cdot 4,05 \cdot 1)] \cdot 0 = 42 \text{ МПа}$$

Приведенное отношение жесткости труб к жесткости фланцевого соединения вычислим по уравнению

$$\rho_1 = \frac{K_y a a_1}{\beta^2 K_\phi R_1}, \quad (4.37)$$

$$\rho_1 = \frac{0,14 \cdot 10^{11} \cdot 0,2 \cdot 0,178}{35,39 \cdot 53512283 \cdot 0,237} = 2,83$$

Используя ранее рассчитанное значение безразмерного параметра системы «решетка – трубы» ω , определим по табл. 1 [13, с. 12] методом линейной интерполяции значения вспомогательных коэффициентов Φ_1 , Φ_2 , Φ_3 , учитывающих поддерживающее влияние труб: $\Phi_1 = 2,98$; $\Phi_2 = 1,52$; $\Phi_3 = 2,99$.

Значения вспомогательных коэффициентов T_1 , T_2 , T_3 , учитывающих влияние бес трубного края и влияние труб, рассчитаем по уравнениям [13, с. 13]

$$T_1 = \Phi_1 [m_n + 0,5(1 + m_n t)(t - 1)], \quad (4.38)$$

$$T_2 = \Phi_2 t, \quad (4.39)$$

$$T_3 = \Phi_3 m_n, \quad (4.40)$$

где $t = 1 + 1,4 \cdot \omega (m_n - 1)$ – вспомогательный параметр.

В нашем случае значение вспомогательного параметра t составляет 2,82, тогда по уравнениям (4.38)–(4.40) получим

$$T_1 = 2,98 [1,12 + 0,5(1 + 1,12 \cdot 2,82(2,82 - 1))] = 23,83$$

$$T_2 = 1,52 \cdot 2,82 = 4,28$$

$$T_3 = 2,99 \cdot 1,12 = 3,35$$

Перерезывающую силу и изгибающий момент в трубной решетке в месте сопряжения с кожухом определим по уравнениям

$$Q_n = a_1 \frac{p_0(T_3 + \rho_1) - p_1 T_2}{(T_1 + \rho K_q)(T_3 + \rho_1) - T_2^2}, \quad (4.41)$$

$$M_n = \left(\frac{a_1}{\beta} \right) \frac{p_1(T_1 + \rho K_q) - p_0 T_2}{(T_1 + \rho K_q)(T_3 + \rho_1) - T_2^2}. \quad (4.42)$$

						Лист
						54
изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Приведенную нагрузку на фланцы для расчета реакций по уравнениям (4.41), (4.42) определим следующим образом:

$$p_1 = \frac{K_y}{\beta K_\Phi} (m_1 p_m - m_2 p_\tau). \quad (4.43)$$

Так как в нашем случае фланцы теплообменной, приемной и отводной камер имеют одинаковую конструкцию, коэффициенты влияния давления на изгиб фланцев равны друг другу: $m_1 = m_2$;

$$m_1 = \frac{1 + \beta_1 h_1}{2\beta_1^2}, \quad (4.44)$$

$$m_1 = \frac{1 + 64,5 \cdot 0,018}{2 \cdot 64,5^2} = 0,0002$$

Тогда по уравнениям (4.41 – 4.43) получим

$$p_1 = \frac{0,14 \cdot 10^{11}}{35,39 \cdot 53512283} \cdot (0,0002 \cdot 0 - 0,0002 \cdot 0,4 \cdot 10^6) = -0,05 \text{ МПа}$$

$$Q_n = 0,178 \frac{42 \cdot 10^6 \cdot (3,35 + 2,83) + 0,05 \cdot 10^6 \cdot 4,28}{(23,83 + 4,05 \cdot 1) \cdot (3,35 + 2,83) - 4,28^2} = 94472 \text{ Н/м}$$

$$M_n = \left(\frac{0,178}{35,39} \right) \frac{-0,05 \cdot 10^6 \cdot (23,83 + 4,05 \cdot 1) - 42 \cdot 10^6 \cdot 4,28}{(23,83 + 4,05 \cdot 1) \cdot (3,35 + 2,83) - 4,28^2} = -1545 \text{ Н} \cdot \text{м/м}$$

Перерезывающую силу и изгибающий момент в трубной решетке, распределенные по перфорированному периметру, найдем следующим образом [13, с. 13]:

$$Q_a = m_n Q_n, \quad (4.45)$$

$$M_a = M_n + (a - a_1) Q_n, \quad (4.46)$$

$$Q_a = 1,12 \cdot 94472 = 105809 \text{ Н/м}$$

$$M_a = -1545 + (0,2 - 0,178) \cdot 94472 = 533 \text{ Н} \cdot \text{м/м}$$

Реакции в теплообменных трубках:

$$N_\tau = \frac{\pi a_1}{i} [(\eta_m p_m - \eta_\tau p_n) a_1 + \Phi_1 Q_a + \Phi_2 \beta M_a], \quad (4.47)$$

$$N_\tau = \frac{\pi \cdot 0,178}{100} [0,51 \cdot 0 - 0,75 \cdot 0,4 \cdot 10^6] \cdot 0,178 + 2,98 \cdot 105809 + 1,52 \cdot 35,39 \cdot 533 = 16981 \text{ Н}$$

$$M_\tau = \frac{E_\tau J_\tau \beta}{K_y a_1 l_{np}} (\Phi_2 Q_a + \Phi_3 \beta M_a). \quad (4.48)$$

						Лист
						55
изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Поскольку в нашем аппарате есть перегородки по межтрубному пространству, приведенная длина трубки равна половине ее длины. Момент инерции поперечного сечения трубки рассчитаем по уравнению

$$J_{\tau} = \frac{\pi(d_{\tau}^4 - (d_{\tau} - 2s_{\tau})^4)}{64}, \quad (4.49)$$

$$J_{\tau} = \frac{\pi \cdot [0,025^4 - 0,021^4]}{64} = 1,0 \cdot 10^{-8} \text{ м}^4$$

$$M_{\tau} = \frac{2,05 \cdot 10^{11} \cdot 1,0 \cdot 10^{-8} \cdot 35,39}{0,14 \cdot 10^{11} \cdot 0,178 \cdot 2} \cdot (1,52 \cdot 105809 + 2,99 \cdot 35,39 \cdot 533) = 34 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Реакции в кожухе [13, с. 14]:

$$Q_{\kappa} = \frac{a}{2} p_{\tau} - Q_{\pi}, \quad (4.50)$$

$$Q_{\kappa} = \frac{0,2}{2} 0,4 \cdot 10^6 - 94472 = -73272 \text{ Н/м}$$

$$M_{\kappa} = \frac{K_1}{\rho_1 K_{\phi} \beta} (T_2 Q_{\pi} + T_3 \beta M_{\pi}) - \frac{P_{\kappa}}{2\beta_1^2}, \quad (4.51)$$

$$M_{\kappa} = \frac{438214}{2,83 \cdot 53512283 \cdot 35,39} \cdot (4,28 \cdot 94472 - 3,35 \cdot 35,39 \cdot 1542) = 12,09 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Поскольку распределенная по периметру кожуха осевая сила имеет отрицательное значение, кожух работает в условиях риска потери устойчивости. Для дальнейших проверочных расчетов по ГОСТ34233.2–2017 [13] приведем распределенное по периметру кожуха осевое усилие к виду осевой силы:

$$F = \pi D Q_{\kappa}, \quad (4.52)$$

$$F = \pi \cdot 0,4 \cdot 73272 = 92030 \text{ Н}$$

Расчет напряжений в элементах теплообменной камеры.

Для проверки прочности теплообменной камеры в условиях статического нагружения необходимо рассчитать пять напряжений: - касательные напряжения в решетке в месте сопряжения с кожухом τ_{p1} ;

- касательные напряжения в сечении по перфорированному диаметру трубной решетки τ_{p2} ;
- осевое напряжение в кожухе $\sigma_{\text{МХ}}$;
- меридиональное напряжение в трубках $\sigma_{1\tau}$;
- кольцевое напряжение в трубках $\sigma_{2\tau}$.

						Лист
						56
изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Рассчитаем данные напряжения [13,с. 15, 16]:

$$\tau_{p1} = \frac{|Q_n|}{(s_p - c)}, \quad (4.53)$$

$$\tau_{p1} = \frac{|94472|}{0,018 - 0,001} = 5,5 \text{ МПа}$$

$$\tau_{p2} = \frac{|Q_a|}{(s_p - c)}, \quad (4.54)$$

$$\tau_{p2} = \frac{|105809|}{0,018 - 0,001} = 6,2 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{MX} = \frac{|Q_k|}{(s_k - c)}, \quad (4.55)$$

$$\sigma_{MX} = \frac{|73272|}{0,006 - 0,001} = 15 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{1r} = \frac{|N_r|}{\pi(d_r - s_r)s_r}, \quad (4.56)$$

$$\sigma_{1r} = \frac{|1698|}{\pi \cdot 0,023 \cdot 0,02} = 12,8 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{2r} = \frac{(d_r - s_r) \max\{|p_r|; |p_m|; |p_r - p_m|\}}{2s_r}, \quad (4.57)$$

$$\sigma_{2r} = \frac{0,023 \cdot 0,4 \cdot 10^6}{2 \cdot 0,002} = 2,3 \text{ МПа}$$

Проверка прочности трубных решеток. Проверку статической прочности трубных решеток проводят по касательным напряжениям (т. е. на срез) по следующему условию [13, с. 17]:

$$\max\{\tau_{p1}; \tau_{p2}\} \leq 0,8[\sigma]_p, \quad (4.58)$$

$$\max\{5,5; 6,2\} = 6,2 \text{ МПа} \leq 0,8 \cdot 140 = 112 \text{ МПа}$$

Условие статической прочности выполняется.

Прочность трубной решетки при работе на изгиб на площади решетки, не занятой трубками, проверяют по уравнению [13, с. 21]

						Лист
						57
изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$s_p \geq 0,5D_E \sqrt{\frac{p}{[\sigma]_p}} + c. \quad (4.59)$$

Максимальное давление на трубную решетку в нашем случае действует со стороны трубного пространства и составляет 0,4 МПа.

Максимальный диаметр окружности, вписанной в площадь решетки, не занятую трубками, определим графически по чертежу. В нашем случае данный диаметр составляет 25,2 мм.

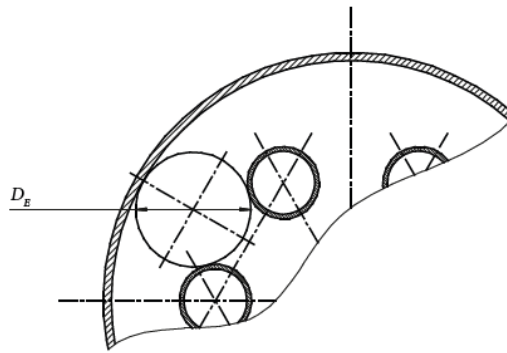


Рисунок 4.1 – Определение диаметра окружности, вписанной в площадь решетки

Таким образом,

$$s_p = 18 \text{ мм} > 0,5 \cdot 25,2 \sqrt{\frac{0,14}{140}} + 1 = 1,4 \text{ мм}$$

Условие прочности трубной решетки при работе на изгиб между трубками выполняется.

Условие прочности кожуха при воздействии дополнительной осевой силы, вызванной стесненными деформациями, проверяют по условию [13, с. 17]

$$\sigma_{\text{МХ}} \leq 1,3[\sigma]_к, \quad (4.60)$$

$$15 < 1,3 \cdot 135 = 176 \text{ МПа}$$

Условие прочности выполняется.

Напомним, что кожух испытывает сжатие и требует проверки на устойчивость согласно [8, с. 10, 11]. Допустимую сжимающую силу для обечайки с соотношением длины и диаметра менее десяти определяют по уравнениям

$$[F] = \frac{[F]_п}{\sqrt{1 + \left(\frac{[F]_п}{[F]_E}\right)^2}}, \quad (4.61)$$

						Лист
						58
изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$[F]_{\text{п}} = \pi(D + s - c)(s - c)[\sigma]\phi, \quad (4.62)$$

$$[F]_{\text{Е}} = \frac{31,0 \cdot 10^{-5} E}{n_y} D^2 \left[\frac{100(s - c)}{D} \right]^{2,5}, \quad (4.63)$$

где $[F]$ — допустимая осевая сила, Н;

$[F]_{\text{п}}$ — допустимая осевая сила из условий прочности, Н;

$[F]_{\text{Е}}$ — допустимая осевая сила из условий устойчивости, Н;

n_y — коэффициент запаса устойчивости, для рабочих условий $n_y = 2,4$.

Поскольку кожух теплообменной камеры изготовлен из бесшовной трубы, коэффициент сварного шва ϕ равен единице. Тогда получим

$$[F]_{\text{п}} = \pi \cdot (0,4 + 0,006 - 0,001) \cdot (0,006 - 0,001) \cdot 140 \cdot 10^6 = 0,9 \text{ МН}$$

$$[F]_{\text{Е}} = \frac{31,05 \cdot 10^{-5} \cdot 2,05 \cdot 10^{11}}{2,4} \cdot 0,4^2 \left[\frac{100(0,006 - 0,001)}{0,4} \right]^{2,5} = 7,4 \text{ МН}$$

$$[F] = \frac{0,9}{\sqrt{1 + \left(\frac{0,9}{7,4}\right)^2}} = 0,89 \text{ МН}$$

Проверим условия прочности и устойчивости:

$$F = 0,092 \text{ МН} < [F] = 0,89 \text{ МН}$$

Условия прочности и устойчивости выполняются.

Проверка прочности теплообменных трубок. Условие статической прочности трубок имеет вид [13, с. 16]

$$\max\{\sigma_{1r}; \sigma_{2r}\} \leq [\sigma]_r, \quad (4.64)$$

$$\max\{12,8; 2,3\} = 12,8 \text{ МПа} \leq 135$$

Условие прочности выполняется.

Поскольку трубки испытывают растяжение и не установлены дополнительные требования по жесткости трубок, дополнительных проверок не требуется.

Проверка надежности крепления трубок в трубных решетках. Осевая сила N_r , действующая на трубки, стремится «выбить» их из трубных решеток. Нагрузку от данной силы воспринимает сварное или (и) вальцованное соединение трубки и трубной решетки. Для сварного соединения труб и трубных решеток условие прочности соединения трубной решетки и трубки проверяют по касательному напряжению (т. е. на срез) [13, с. 18, 19]:

						Лист
						59
изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$\tau = \frac{|N_{\tau}|d_{\tau} + 4|M_{\tau}|}{\pi d_{\tau}^2 \delta} \leq \varphi_c \cdot \min\{[\sigma]_{\tau}; [\sigma]_p\}, \quad (4.65)$$

$$\varphi_c = \min\{0,5; (0,95 - 0,2 \lg(N))\}, \quad (4.66)$$

где N — количество циклов нагружения теплообменника.

Так как нам необходимо произвести расчет для условий статического нагружения, принимаем коэффициент φ_c равным 0,5. Высоту (катет) сварного шва примем по ГОСТ 5264–80 [18]. Сварку трубок с трубными решетками для нашей конструкции теплообменника мы можем осуществить сварным швом Т1. В таком случае высота сварного шва составляет, согласно требованиям ГОСТ 5264–80 для сваривания деталей тоньше 3 мм (толщина стенки нашей трубки 2,5 мм), не менее 3 мм [18, с. 5]. Проверим условие (4.65) с учетом данных замечаний:

$$\tau = \frac{|16981| \cdot 0,025 + 4 \cdot |34|}{\pi \cdot 0,025^2 \cdot 0,003} = 55 \text{ МПа} < 0,5 \cdot 135 = 68 \text{ МПа}$$

Условие надежности крепления для сварного соединения теплообменных трубок и трубных решеток в условиях статического нагружения выполняется.

Таким образом, прочность элементов теплообменной камеры конденсатора для геометрических размеров и условий нагружения, принятых согласно исходным данным, обеспечена.

						Лист
						60
изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

4.6 Выводы проведенного расчета

Была найдена необходимая поверхность теплообмена для обеспечения охлаждения серной кислоты в заданных параметрах. Она составила 27,8 м².

По найденной поверхности по ГОСТ 15122-79 выбран стандартный теплообменный аппарат с площадью поверхности теплопередачи 31 м² со следующими характеристиками:

1. Диаметр кожуха D = 400 мм по ГОСТ 9617-76.
 2. Тип аппарата ТНГ – теплообменник с неподвижными трубными решетками горизонтальный.
 3. Условное давление в трубах и кожухе - 0,25 МПа.
 4. Исполнение по материалу - М1.
 5. Исполнение по температурному пределу - 0-обыкновенное.
 6. Диаметр трубы - 25 мм.
 7. Состояние поставки наружной трубы - Г- гладкая.
 8. Длина труб - 4,0 м.
 9. Схема размещения труб - Ш - по вершинам равносторонних треугольников.
 10. Число ходов - 2.
- Группа исполнения - А.

Теплообменник: $\frac{400ТКГ - 0,25М1 - 0}{25Г - 4Ш - 2}$ гр. А ГОСТ15122-79

						Лист
						61
изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

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

Студенту:

Группа	ФИО
3-4Г61	Михайлова Гулнора Рустемовна

Школа	Инженерная школа новых производственных технологий	Отделение школы (НОЦ)	Научно-образовательный центр Н.М. Кижнера
Уровень образования	Бакалавр	Направление/специальность	18.03.01 Химическая технология

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

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	<i>В реализации проекта задействованы два человека: руководитель, инженер</i>
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	<i>Накладные расходы 16%; Районный коэффициент 30%</i>
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	<i>Ставка отчислений на уплату во внебюджетные фонды 30 %</i>

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. <i>Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ</i>	<i>Анализ конкурентных технических решений</i>
2. <i>Планирование и формирование бюджета технического проекта</i>	<i>Планирование работ; Разработка графика Ганта. Формирование бюджета затрат на проектирование</i>
3. <i>Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности проекта</i>	<i>Описание потенциального эффекта</i>

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Карта сегментирования рынка кожухотрубного теплообменника
2. Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)
3. Перечень этапов работ при проектировании
4. Временные показатели проведения ТП
5. Календарный план-график проведения проекта
6. Бюджет затрат

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Трубченко Татьяна Григорьевна	Кандидат экономических наук, доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-4Г61	Михайлова Гулнора Рустемовна		

5 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСΟΣБЕРЕЖЕНИЯ

Целью выпускной квалификационной работы является проектирование кожухотрубного теплообменника серноокислотного производства.

В результате проделанной работы был проведен технологический расчет, целью которого явилось определение поверхности теплообмена, число труб, обеспечивающих объемный расход серной кислоты, а также подбор штуцеров.

Экономическая эффективность данного проекта заключается в том, что разработанный кожухо-трубный теплообменник является более производительным, чем уже действующий.

5.1 Предпроектный анализ

5.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Чтобы определить потенциальных потребителей данной разработки, необходимо рассмотреть целевой рынок и провести его сегментирование. Сегментирование рынка кожухотрубного теплообменника производят по критериям: размер компании, отрасль применения (таблица 5.1).

Таблица 5.1 – Карта сегментирования рынка кожухотрубного теплообменника

		Отрасль применения				
		Машиностроение	Вентиляционные системы	Металлургия	Пищевая промышленность	Химическая промышленность
Размер компании	Крупные					
	Средние					
	Мелкие					

					ФЮРА			
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата				
Разраб.		Михайлова Г.Р.			Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Лит.	Лист	Листов
Руковод.		Горлушко Д.А.					63	13
Консульт.						ИШПНТ ТПУ Группа: 3-4Г61		
Н. контр.								
Рук-ль ООП		Беляев В.М						

В данной таблице указано, что разработанный кожухо-трубный теплообменник может использоваться в металлургической и химической промышленности на крупных и средних предприятиях, имеющих сернокислотное производство.

5.1.2 Анализ конкурентных технических решений

Детальный анализ конкурирующих разработок, существующих на рынке, необходимо проводить систематически, поскольку рынки пребывают в постоянном движении. Такой анализ помогает вносить коррективы в разрабатываемый объект. Чтобы выявить ресурсоэффективность разработки и определить направления для ее будущего повышения, необходимо провести анализ конкурентных технических решений с помощью оценочной карты, которая приведена в таблице 5.2.

В качестве основных конкурентов рассматриваются: АО «Завод Нефтегазового и Химического Машиностроения» (Республика Узбекистан, г. Чирчик) – к1; ООО «Завод ТехМаш» (Республика Узбекистан, г. Чирчик) – к2.

Таблица 5.2 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б _ф	Б _{к1}	Б _{к2}	К _ф	К _{к1}	К _{к2}
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
Удобство в эксплуатации	0,1	5	5	4	0,5	0,5	0,4
Долговечность	0,05	5	5	4	0,25	0,25	0,2
Надежность	0,1	5	5	4	0,5	0,5	0,4
Безопасность использования	0,2	4	4	4	0,8	0,8	0,8
Работа в агрессивной среде	0,05	5	5	4	0,25	0,25	0,2
Производительность	0,05	5	5	4	0,25	0,25	0,2
Экономические критерии оценки эффективности							
Цена	0,2	5	3	4	1	0,6	0,8
Предполагаемый срок эксплуатации	0,1	5	5	4	0,5	0,5	0,4
Прост в обслуживании	0,05	5	5	5	0,25	0,25	0,25
Экономичен в процессе эксплуатации	0,1	5	4	4	0,5	0,4	0,4
Итого	1	49	46	41	4,8	4,3	4,05

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum B_i \cdot V_i, \quad (5.1)$$

где K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента; V_i – вес показателя (в долях единицы); B_i – балл i -го показателя.

Коэффициент конкурентоспособности предприятия:

$$k_K = \frac{K_{\phi}}{K_{\text{ср}}} = \frac{4,8}{(4,3 + 4,05)/2} = 1,15$$

По результатам расчётов ($k_K > 1$) можно заключить, что разрабатываемый кожухотрубный теплообменник конкурентоспособен на рынке. Его преимуществом перед ближайшим конкурентом (АО «Завод Нефтегазового и Химического Машиностроения») являются меньшая цена и экономичность в процессе эксплуатации.

5.2 Планирование научно-технического исследования

5.2.1 Структура выполнения работы

Проектирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

- определение структуры работ в рамках проектирования кожухотрубного теплообменника;
- определение участников каждой работы;
- установление продолжительности работ;
- построение графика проведения технического проекта.

Для выполнения технического проекта формируется рабочая группа, в состав которой могут входить научные сотрудники и преподаватели, инженеры, техники и лаборанты, численность групп может варьироваться. По каждому виду запланированных работ устанавливается соответствующая должность исполнителей.

Порядок составления этапов и работ от разработки технического задания и до оформления итогового отчета, распределение исполнителей по данным видам работ приведен в таблице 5.3.

						Лист
						65
изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Таблица 5.3 – Перечень этапов работ при проектировании

Основные этапы	№	Содержание работ	Исполнитель
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания (схем моделирования, проектирования)	Руководитель
Выбор направления исследований	2	Подбор и изучение материалов по теме, примерный план работ	Руководитель
	3	Выбор направления оптимизационной задачи	Инженер
	4	Календарное планирование работ	Руководитель
Теоретические исследования	5	Разработка вариантов проектирования	Инженер
	6	Выбор программного обеспечения для расчетов	Инженер
	7	Сравнение возможных вариантов по ряду критериев	Инженер
	8	Технологический и механический расчет	Инженер
Обобщение и оценка результатов	9	Оценка эффективности полученных результатов	Руководитель
Разработка технической документации	10	Оценка надежности полученных результатов	Руководитель
	11	Вопросы безопасности и экологичности проекта	Инженер
Оформление отчёта по НИР	12	Составление пояснительной записки по проекту	Инженер

Как видно из таблицы 5.3 проектирование кожухотрубного теплообменника подразделяется на 12 этапов. Большую часть работ выполняет инженер.

5.2.2. Расчет трудовых затрат на проектирование

Трудовые затраты в большинстве случаев образуют основную часть стоимости разработки, поэтому важным моментом является определение трудоемкости работ каждого из участников проекта.

Трудоемкость выполнения проектирования кожухотрубного теплообменника оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, т.к. зависит от множества трудно учитываемых факторов. Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости $t_{ож_i}$ используется следующая формула:

$$t_{ож_i} = \frac{3 \cdot t_{\min_i} + 2 \cdot t_{\max_i}}{5};$$

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

						Лист
						66
изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

t_{\min} – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (оптимистическая оценка: в предположении наиболее благоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.;

$t_{\max i}$ – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.

Если в качестве примера брать первый этап – разработка технического задания, то можно сказать, что скорость работы исполнителя напрямую зависит от его опыта в проектировании кожухо-трубных теплообменников. В случае, если исполнитель сталкивается с подобной задачей впервые, то работа займет больше времени, и наоборот, опытный исполнитель выполнит работу в кратчайшие сроки. Рассчитаем ожидаемое значение трудоёмкости для различных этапов:

$$t_{\text{ож}_1} = \frac{3 \cdot 3 + 2 \cdot 5}{5} = 4,2 \text{ чел. -дн};$$

$$t_{\text{ож}_2} = \frac{3 \cdot 4 + 2 \cdot 7}{5} = 5,2 \text{ чел. -дн};$$

$$t_{\text{ож}_3} = \frac{3 \cdot 3 + 2 \cdot 5}{5} = 3,8 \text{ чел. -дн};$$

$$t_{\text{ож}_4} = \frac{3 \cdot 1 + 2 \cdot 3}{5} = 1,8 \text{ чел. -дн};$$

$$t_{\text{ож}_5} = \frac{3 \cdot 5 + 2 \cdot 9}{5} = 6,6 \text{ чел. -дн};$$

$$t_{\text{ож}_6} = \frac{3 \cdot 1 + 2 \cdot 3}{5} = 1,8 \text{ чел. -дн};$$

$$t_{\text{ож}_7} = \frac{3 \cdot 4 + 2 \cdot 6}{5} = 4,8 \text{ чел. -дн};$$

$$t_{\text{ож}_8} = \frac{3 \cdot 10 + 2 \cdot 24}{5} = 15,6 \text{ чел. -дн};$$

$$t_{\text{ож}_9} = \frac{3 \cdot 6 + 2 \cdot 8}{5} = 6,8 \text{ чел. -дн};$$

$$t_{\text{ож}_{10}} = \frac{3 \cdot 4 + 2 \cdot 6}{5} = 4,8 \text{ чел. -дн};$$

$$t_{\text{ож}_{11}} = \frac{3 \cdot 6 + 2 \cdot 8}{5} = 6,8 \text{ чел. -дн};$$

$$t_{\text{ож}_{12}} = \frac{3 \cdot 3 + 2 \cdot 6}{5} = 4,2 \text{ чел. -дн};$$

						Лист
						67
изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Исходя из ожидаемой трудоёмкости определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях, учитывая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями, по следующей формуле:

$$T_{pi} = \frac{t_{ожi}}{Ч_i},$$

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

$t_{ожi}$ – ожидаемая трудоёмкость выполнения одной работы, чел.-дн.;

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

При проектировании и разработки моделей все действия выполняются последовательно, соответственно продолжительность каждой работы будет равна $T_{pi} = t_{ожi}$, полученный ответ округляем до ближайшего целого значения.

5.2.3 Построение графика проведения технического проекта

Наиболее удобным и наглядным является построение ленточного графика проведения проектировочных работ в форме диаграммы Ганта.

Диаграмма Ганта – горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ. На диаграмме помимо задач, располагается последовательность, с которой необходимо выполнять работу.

Для удобства построения графика, длительность каждого из этапов работ из рабочих дней следует перевести в календарные дни. Для этого необходимо воспользоваться следующей формулой:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{кал};$$

где T_{ki} – продолжительность выполнения i -й работы в календарных днях;

T_{pi} – продолжительность выполнения i -й работы в рабочих днях;

$k_{кал}$ – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{кал} = \frac{T_{кал}}{T_{кал} - T_{вых} - T_{пр}},$$

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

$T_{вых}$ – количество выходных дней в году;

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

						Лист
						68
изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Определим коэффициент календарности на 2020 год:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}} = \frac{366}{366 - 118} = 1,475.$$

Тогда длительность первой работы в календарных днях:

$$T_{к4} = T_{р4} \cdot k_{\text{кал}} = 4 \cdot 1,475 = 5,9 \approx 6 \text{ дн.}$$

Рассчитанные значения в календарных днях по каждой работе необходимо округлить до целого числа. Все рассчитанные значения сводим в таблицу 5.4.

Таблица 5.4 – Временные показатели проведения ТП

Название работы	Трудоёмкость работ (чел-дни)		Длительность работ в рабочих днях Т _р	Длительность работ в календарных днях Т _к
	<i>t_{min}</i>	<i>t_{max}</i>		
Составление и утверждение технического задания (схем моделирования, проектирования)	3	6	4	6
Подбор и изучение материалов по теме, примерный план работ	4	7	5	8
Выбор направления оптимизационной задачи	3	5	4	6
Календарное планирование работ	1	3	2	3
Разработка вариантов проектирования	5	9	7	10
Выбор программного обеспечения для расчетов	4	6	5	7
Сравнение возможных вариантов по ряду критериев	2	3	2	4
Технологический и механический расчет	10	24	16	23
Оценка эффективности полученных результатов	6	8	7	10
Оценка надежности полученных результатов	4	6	5	7
Вопросы безопасности и экологичности проекта	6	8	7	10
Составление пояснительной записки	3	6	4	6
<i>Итого</i>	51	91	68	100

На основании таблицы построим календарный план-график. График строится для максимального по длительности исполнения работ в рамках данного проекта.

Согласно составленному календарному плану с учетом вероятностного характера выполнения работ (благоприятный, неблагоприятный) продолжительность проектирования

составляет 10 полных декад, начиная со второй декады февраля, заканчивая третьей декадой июня, с 11 февраля по 20 мая.

Далее, по диаграмме Ганта можно наглядно оценить показатели рабочего времени для каждого исполнителя. Продолжительность выполнения проекта в рабочих днях составит 100 дня, из которых 66 дней – продолжительность выполнения работ инженером, а 34 дней – продолжительность выполнения работ руководителем.

						Лист
						70
изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

5.3 Бюджет технического проекта

При планировании бюджета ТП должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов расходов, связанных с его выполнением. В процессе формирования бюджета ТП используется следующая группировка затрат по статьям:

- материальные затраты ТП;
- амортизационные отчисления;
- заработная плата исполнителей темы;
- отчисления во внебюджетные фонды;
- накладные расходы.

5.3.1 Материальные затраты

В данную статью должны быть включены все затраты, связанные с приобретением специального оборудования (приборов, контрольно-измерительной аппаратуры, стендов, устройств и механизмов), необходимого для проведения работ по конкретной теме. Т.к. работа является исследовательской, все работы могут быть произведены с помощью специализированного программного обеспечения. Исследования проводятся на базе Национального исследовательского Томского политехнического университета, то есть ПО приобретено с корпоративной лицензией для образовательного учреждения, ПО студентам и преподавателям предоставляется бесплатно. Затраты на канцелярские принадлежности составили 1000 рублей.

5.3.2 Расчёт амортизационных отчислений

Продолжительность выполнения проекта в рабочих днях инженером составляет 66 дней, то есть 3 месяца. Для моделирования и проведения расчётов используется персональный компьютер первоначальной стоимостью 60000 рублей. Срок полезного использования для офисной техники составляет от 2 до 3 лет.

Норма амортизации H_A рассчитывается как:

$$H_A = \frac{1}{T} \cdot 100\%$$

						Лист
изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		72

где T – срок полезного использования, лет.

Если принять срок полезного использования равным 3 годам, тогда норма амортизации H_A :

$$H_A = \frac{1}{3} \cdot 100\% = 33,3\% .$$

Годовые амортизационные отчисления:

$$A_{год} = 60000 \cdot 0,33 = 19800 \text{ руб.}$$

Ежемесячные амортизационные отчисления:

$$A_{мес} = \frac{19800}{12} = 1650 \text{ руб.}$$

Итоговая сумма амортизации основных средств:

$$A = 1650 \cdot 3 = 4950 \text{ руб.}$$

5.3.3 Заработная плата исполнителей

Оклад руководителя составляет 27600 руб., оклад инженера 17160 руб.

В данном пункте рассчитываем основную заработную плату работников участвующих в выполнении работ по данной теме.

Затраты на заработную плату:

$$Зп = Зосн + Здоп$$

Зосн – основная заработная плата, руб.

Здоп – дополнительная заработная плата, руб.

Заработная плата основная:

$$Зосн = Здн \cdot Тр \cdot (1 + Кпр + Кд) \cdot Кр$$

Здн – среднедневная заработная плата, руб.

Кпр – премиальный коэффициент (0,3);

Кд – коэффициент доплат и надбавок (0,2-0,5);

Кр – районный коэффициент (для Томска 1,3);

Тр – продолжительность работ, выполняемых работником, руб. дни

Среднедневная заработная плата:

$$Здн = \frac{Зм \cdot М}{Fд}$$

Зм – оклад работника за месяц, руб.

М – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

						Лист
						73
изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

при отпуске в 24 раб.дня $M = 11,2$ месяца, 5-дневная неделя;

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

F_d – действительный годовой фонд рабочего времени персонала, раб.дн.

Таблица 5.6 – Баланс рабочего времени (для 6-дневной недели)

Показатели рабочего времени	Дни
Календарные дни	366
Нерабочие дни (праздники/выходные)	118
Потери рабочего времени (отпуск/невыходы по болезни)	10
Действительный годовой фонд рабочего времени	238

Рассчитаем среднедневную заработную плату для инженера и, данные внесем в таблицу 5.7:

$$З_{дн \text{ инж.}} = \frac{З_m \cdot M}{F_d} = \frac{17160 \cdot 11,2}{238} = 807,53 \text{ руб.}$$

$$З_{дн \text{ рук.}} = \frac{З_m \cdot M}{F_d} = \frac{27600 \cdot 11,2}{238} = 1\,298,82 \text{ руб.}$$

Таблица 5.7 – Расчет основной заработной платы

Исполнители	Здн, руб.	Кпр	Кд	Кр	Тр	Зосн
Инженер	807,53	0,05	0,05	1,3	45	51 964,5
Руководитель	1298,82	0,05	0,05	1,3	23	42 718,2
Итого						94 682,2

Расчет дополнительной заработной платы исполнителей:

$$З_{\text{доп}} = 0,12 \cdot З_{\text{осн}};$$

$$З_{\text{доп инж}} = 0,12 \cdot 51964,5 = 6235,74 \text{ руб.}$$

$$З_{\text{доп рук}} = 0,12 \cdot 42718,2 = 5126,2 \text{ руб.}$$

5.3.4 Отчисления во внебюджетные фонды

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

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$З_{\text{внеб}} = 0,3 \cdot (З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}});$$

						Лист
						74
изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Рассчитаем величину внебюджетных отчислений:

$$Z_{\text{внеб инж}} = 0,3 \cdot (51964,5 + 6235,74) = 17\,460 \text{ руб.}$$

$$Z_{\text{внеб рук}} = 0,3 \cdot (42718,2 + 5126,2) = 14\,353,32 \text{ руб.}$$

5.3.5 Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не включенные в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи, электроэнергии, почтовые и телеграфные расходы и т.д. Величина коэффициента накладных расходов принимается в размере 16% от суммы прямых расходов, определенных в пп. 5.3.1-5.3.4.

Таблица 5.8 – Расчеты накладных расходов

Статьи затрат	Сумма, руб.
Материальные затраты	1000
Амортизационные отчисления	4950
Заработная плата исполнителей	106044
Страховые взносы	31813
Итого прямые затраты	143807
Накладные расходы	23009

Сумма накладных расходов составляет 23009 руб.

5.3.6 Формирование бюджета затрат

Рассчитанная величина затрат проектной работы является основной для формирования бюджета затрат проекта, который при формировании договора с заказчиком защищается проектной организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку. Данные бюджета затрат ТП приведены в таблице 5.9.

Таблица 5.9 – Бюджет затрат

Статьи затрат	Сумма, руб.	Удельный вес, %
Материальные затраты	1000	0,6
Амортизационные отчисления	4950	3,0
Заработная плата исполнителей	106044	63,6
Страховые взносы	31813	19,1
Накладные расходы	23009	13,8
Общий бюджет	166816	100,0

						Лист
изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		75

Таким образом, бюджет затрат составил 166816 руб., на 82,7% сформированный затратами на оплату труда исполнителей, а также начисленными страховыми взносами.

5.4 Выводы по разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

В данном разделе был выполнен анализ ресурсоэффективности и ресурсосбережения проектирования кожухотрубного теплообменника:

1. Выявлены потенциальные потребители результатов исследования. Разработка может быть применена в металлургической и химической промышленности на крупных и средних предприятиях, имеющих сернокислотное производство.

2. Проведён анализ конкурентных технических решений. Выявлено два конкурента: АО «Завод Нефтегазового и Химического Машиностроения» (Республика Узбекистан, г. Чирчик) и ООО «Завод ТехМаш» (Республика Узбекистан, г. Чирчик). Разрабатываемый кожухо-трубный теплообменник конкурентоспособен на рынке. Его преимуществом перед ближайшим конкурентом (АО «Завод Нефтегазового и Химического Машиностроения») являются меньшая цена и экономичность в процессе эксплуатации.

3. Общая продолжительность работ составила 66 дней.

4. Подсчёт затрат на разработку позволяет заключить, что основной статьёй расходов в научно-исследовательской работе являются затраты на оплату труда исполнителей: заработная плата исполнителей – 106044 руб. (63,6%), страховые взносы – 31813 руб. (19,1%). Затем идут накладные расходы – 23009 руб. (13,8%). Меньше всего средств уходит на амортизацию оборудования – 4950 руб. (3,0%) и на материальные затраты – 1000 руб. (0,6%).
Общий бюджет разработки составил 166816 руб.

						Лист
						76
изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группы	ФИО
3-4Г61	Михайлова Гулнора Рустемовна

Институт	Электронного обучения	Кафедра	ТПТ
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	18.03.01 «Химическая технология»

Тема ВКР:

Проект кожухотрубного теплообменника сернокислотного производства

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Объект исследования: теплообменник охлаждения серной кислоты. Область применения: химическая промышленность
--	--

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<p>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</p> <ul style="list-style-type: none"> - специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; - организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. 	<p>Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 № 197-ФЗ (ред. от 30.04.2021)</p> <p>Санитарные правила и нормы СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания»</p> <p>ГОСТ Р 22.0.02-2016 «Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Термины и определения основных понятий».</p>
<p>2. Производственная безопасность:</p> <p>2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов</p> <p>2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия</p>	<p>Вредные факторы:</p> <ul style="list-style-type: none"> - повышенная загазованность воздуха рабочей зоны, - повышенная или пониженная температура воздуха рабочей зоны, - повышенный уровень шума на рабочем месте <p>Опасные факторы:</p> <ul style="list-style-type: none"> - движущиеся машины и механизмы, подвижные части насосов - высокая температура технологического оборудования
<p>3. Экологическая безопасность:</p>	<p>Атмосфера: возможный выброс диоксида серы.</p> <p>Гидросфера: нет</p> <p>Литосфера: загрязнение почвы серной кислотой при разливе</p>
<p>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях</p>	<p>Возможные ЧС: наводнения, ураганы, пожары, аварии с выбросом экологически опасных веществ</p> <p>Наиболее типичная ЧС: аварии с выбросом экологически опасных веществ</p>

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	24.04.2021
--	------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Скачкова Л.А.	-		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-4Г61	Михайлова Гулнора Рустемовна		

6 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.

Возникло и прочно утвердилось понятие о социальной ответственности организаций, которая в общем случае включает производство продукции и оказание услуг надлежащего качества, удовлетворение интересов потребителей, соблюдение прав персонала на труд, выполнение требований к безопасности и гигиене труда, к промышленной безопасности и охране окружающей среды, ресурсосбережению, участие в социальных мероприятиях и поддержке инициатив местного сообщества, добросовестное ведение бизнеса.

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 охлаждения серной кислоты сернокислотного производства.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ФЮРА			
Разраб.		Михайлова Г.Р.			Социальная ответственность	Лит.	Лист	Листов
Руковод.		Горлушко Д.А.					78	14
Консульт.						ИШПНТ ТПУ Группа: 3-4Г61		
Н. контр.								
Рук-ль ООП		Беляев В.М						

6.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Согласно ТК РФ, N 197 -ФЗ каждый работник имеет право на:

- рабочее место, соответствующее требованиям охраны труда;
- обязательное социальное страхование от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний в соответствии с федеральным законом;
- получение достоверной информации от работодателя, соответствующих государственных органов и общественных организаций об условиях и охране труда на рабочем месте, о существующем риске повреждения здоровья, а также о мерах по защите от воздействия вредных и (или) опасных производственных факторов;
- отказ от выполнения работ в случае возникновения опасности для его жизни и здоровья вследствие нарушения требований охраны труда, за исключением случаев, предусмотренных федеральными законами, до устранения такой опасности;
- обеспечение средствами индивидуальной и коллективной защиты в соответствии с требованиями охраны труда за счет средств работодателя;
- обучение безопасным методам и приемам труда за счет средств работодателя;
- личное участие или участие через своих представителей в рассмотрении вопросов, связанных с обеспечением безопасных условий труда на его рабочем месте, и в расследовании происшедшего с ним несчастного случая на производстве или профессионального заболевания;
- внеочередной медицинский осмотр в соответствии с медицинскими рекомендациями с сохранением за ним места работы (должности) и среднего заработка во время прохождения указанного медицинского осмотра;
- гарантии и компенсации, установленные в соответствии с настоящим Кодексом, коллективным договором, соглашением, локальным нормативным актом, трудовым договором, если он занят на работах с вредными и (или) опасными условиями труда;
- повышенные или дополнительные гарантии и компенсации за работу на работах с вредными и (или) опасными условиями труда могут устанавливаться коллективным договором, локальным нормативным актом с учетом финансово-экономического положения работодателя.

Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.

Основным объектом в производственных условиях является рабочее место, представляющее собой в общем случае пространство, в котором может находиться человек

						Лист
изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		79

при выполнении производственного процесса. Рабочее место является основной подсистемой производственного процесса.

Для обеспечения безопасной эксплуатации производства, исключения возможности возникновения взрывов, пожаров, отравлений, травм, ожогов, а также для обеспечения нормальных санитарно-гигиенических условий труда работающих необходимо выполнение следующих требований промышленной безопасности:

- регулирование технологического процесса производить согласно требованиям регламента и инструкции по охране труда;
- каждый работающий обязан знать свойства применяемого сырья, материалов, полупродуктов и готовой продукции, действия на организм человека и правила работы с ними;
- все аппараты, работающие под избыточным давлением более 0,7 кгс/см²;
(0,07 МПа), на которые распространяются правила Госгортехнадзора должны иметь исправные предохранительные устройства;
- обнаруженные не плотности трубопроводов, арматуры и аппаратов устранять только после сброса давления, освобождения их от продукта, продувки азотом, и по возможности промывки и пропарки;
- обеспечить работу общеобменной вентиляции и предусмотренных местных отсосов;
- технологическое оборудование должно быть оснащено системами автоматического регулирования, аварийной сигнализацией и блокировками в целях предупреждения аварийных ситуаций;
- загрузку компонентов в реакторы полимеризации производить специально подготовленными навесками, в рукавицах с соблюдением мер безопасности;
- все оборудование и трубопроводы должны быть заземлены;
- для уменьшения зарядов статического электричества при рассеивании тумана серной кислоты подавать увлажненный воздух от увлажнителя;
- курение и прием пищи производить только в специально отведенных местах;
- обеспечение необходимыми средствами пожаротушения и содержание их в исправном состоянии.

						Лист
						80
изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

6.2 Производственная безопасность

6.2.1 Анализ выявленных вредных и опасных факторов

Опасными производственными факторами при использовании серной кислоты являются :

- запыленность,
- SO₂, SO₃,
- отравление соединениями серы,
- подвижные части производственного оборудования,
- факторы термического ожога,
- поражение электрическим током.

Опасные факторы и способы защиты представлены в таблице 6.1.

Таблица 6.1 – Возможные вредные и опасные факторы при разработке, монтаже и эксплуатации теплообменника

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ			Нормативная документация
	Разра- ботка	Изготовле- ние	Эксплуата- ция	
1	2	3	4	5
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]

						Лист
изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		81

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].

Вредными производственными факторами при использовании серной кислоты являются:

- повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны,
- повышенная или пониженная температура воздуха рабочей зоны,
- повышенный уровень шума на рабочем месте,
- повышенный уровень электромагнитных излучений,
- повышенная напряженность магнитного поля,
- недостаточная освещенность рабочей зоны.

Серная кислота и сульфаты приводят: к замедлению роста с/х культур; к закислению водоемов (влечёт гибель икр и молоди рыб); к разрушению конструкций из известняка и мрамора; повышение коррозионного износа металлов; увеличение количества случаев респираторных заболеваний человека и животных; громадные суммы каждый год теряются при раскислении почв.

При отравлении парами серной кислоты возникает раздражение и ожог глаз, слизистых оболочек носоглотки, гортани, носовые кровотечения, боль в горле, охриплость голоса из-за спазма голосовой щели. При этом особенно опасны отеки гортани и легких. При попадании серной кислоты на кожу возникают химические ожоги, глубина и тяжесть которых определяются концентрацией кислоты и площадью ожога.

									Лист
изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					82

При поступлении серной кислоты внутрь немедленно после приема появляются резкие боли в области рта и всего пищеварительного тракта, сильная рвота с примесью сначала алой крови, а затем бурыми массами. Одновременно с рвотой начинается сильный кашель. Развивается резкий отек гортани и голосовых связок, вызывающий резкие затруднения дыхания. Кожа лица принимает темно-синий цвет, зрачки расширяются. Отмечается падение и ослабление сердечной деятельности.

Смертельная доза серной кислоты при поступлении внутрь – 5 миллиграммов.

При отравлении парами серной кислоты первая помощь состоит в обеспечении пострадавшему свежего воздуха. Необходимо промыть рот и зев раствором соды (20 грамм пищевой соды на 1 литр воды).

При попадании паров или капель серной кислоты на кожу пораженное место обильно промывают водой.

При поступлении серной кислоты внутрь необходимо осторожное промывание желудка, затем больной должен принимать жженую магнезию или известковую воду через 5 минут по 1 столовой ложке. Полезно обильное питье воды со льдом или молока, сырой яичный белок, жиры и масла, слизистые отвары.

6.2.2 Обоснование мероприятий по снижению воздействия

Чтобы обеспечить безопасность при обслуживании теплообменник необходимо соблюдать инструкции. Работать разрешается только в предусмотренной нормами чистой, сухой, исправной, хорошо подогнанной по размеру спецодежде, спецобуви и других средствах индивидуальной защиты. Во время работы особое внимание должно быть обращено на устранение возникновения риска контакта человека с расплавленным металлом, а так же контакта расплавленного металла с влагой, влажными предметами и не прогретым инструментом и оборудованием. Контакт расплавленного металла с влагой или влажным предметом приводит к взрывам и выбросам расплава. В корпусах электролиза работает большое количество обрабатывающей техники, транспортных средств и электро-мостовых кранов, поэтому, работающим необходимо внимательно следить за их перемещениями, своевременно реагировать на предупреждающие звуковые сигналы, действовать согласованно с лицами, управляющими этими механизмами.

						Лист
изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		83

6.2.3 Производственная санитария

Недостаточная освещенность, вредное воздействие ионизированных излучений, неудовлетворительное состояние микроклимата в рабочих помещениях – любое из этих отклонений от санитарно-гигиенической нормы может помешать нормальной работе специалистов, значительно снизить работоспособность и производительность, отразиться на качестве выполнения работы.

Допустимая скорость движения воздуха равна 0,2 м/с. Для улавливания вредных веществ и пыли у мест их выделения в помещении используется местная вентиляция. Гигиеническое значение местной вентиляции заключается в том, что она исключает или значительно сокращает проникновение вредных выделений в дыхательные пути работающих. Наиболее часто применяются вытяжные шкафы.

Для получения негустых теней наиболее рациональным является применение светильников полу-отраженного света.

При работе необходима спецодежда, которая служит для защиты работающего от неблагоприятных воздействий и опасностей производства. Она должна не препятствовать нормальной термоизоляции организма, быть удобной, не стеснять движений и легко отчищаться от загрязнений.

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

Таблица 6.2 – 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.
Операторная	Средней Тяжести	Холодный	17-19	16-22	40-60	не >75	не >0.3	не >0.5
		Теплый	20-23	не >28	40-60	не >70	0.2-0.5	0.5-1.0

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

6.2.4 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 правила, для помещений, в которых постоянно работают люди.

Расчет естественного освещения.

Нормируемое значение К.Е.О. определяется по формуле:

$$e_N = e_H \cdot m_N$$

где e_N – нормированное значение К.Е.О. 1,5;

m_N – коэффициент светового климата, 0,9;

N – номер группы обеспеченности естественным светом, 2;

$$e_H = 1,5 \cdot 0,9 = 1,35$$

Таблица 6.3 – Характеристика естественного освещения

Наименование помещения	Вид освещения	Характер зрительной работы	Наим. размер объекта различения, мм	Норма К.Е.О. %
Операторная	боковое	Средней Точности	0.5 – 1	1.35

Расчет искусственного освещения.

Для данного производства предусмотрена система общего равномерного освещения светильниками типа ВЗГ с лампами накаливания Г-200 . Используя формулу светового потока: определяем количество светильников:

$$F_{л} = \frac{100E_n \cdot S \cdot Z \cdot K_з}{N \cdot \eta \cdot n}$$

где $F_{л}$ – световой поток, 2800лм;

E_n – минимальная нормированная освещенность, 200 лк;

$K_з$ – коэффициент запаса, учитывающий строение ламп; запыление и загрязнение светильников, 1,5;

S – площадь помещения, 1500 м²;

Z – коэффициент отношения средней освещенности к МИНИМАЛЬНОМУ значению, 1,15;

					Лист
изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	85

n – число ламп в светильнике, 2 шт;

η – коэффициент использования светового потока, определяется в зависимости от индекса помещения (i), %;

Индекс помещения определяется по формуле:

$$i = \frac{S}{H_p(A + B)}$$

где H_p – высота подвеса светильников, 3,7м;

A, B – длина и ширина помещения, 30м, 50м соответственно;

$$i = \frac{1500}{3.7 \cdot (30 + 50)} \text{ тогда } \eta = 46\%$$

$$N = \frac{100 \cdot 200 \cdot 1500 \cdot 1.15 \cdot 1.5}{2300 \cdot 46 \cdot 2} = 244$$

Таблица 6.4- Характеристика искусственного освещения

Наименование помещения	Вид освещения.	Характер зрител. работы	Наим. размер объекта различения мм	Норма освещенности Ен, лк	Количество светильников
Операторная	Общее	Средней точности	0.5 – 1	200	244

6.2.5 Производственные шумы

Шум – это беспорядочная совокупность звуковых волн различных частот и амплитуд, распространяющихся в воздухе и воспринимаемых ухом человека. Шумом называют обычно всякий мешающий звук. Уровень шума в 20-30 децибелов практически безвреден для человека, это естественный шумовой фон.

Шум оказывает вредное воздействие на организм человека, особенно на ЦНС, вызывая переутомление и истощение клеток головного мозга. Под влиянием шума возникает бессонница, быстро развивается утомляемость, понижается внимание, снижается общая работоспособность и производительность труда. Длительное воздействие на организм шума и связанные с этим нарушения со стороны ЦНС рассматриваются как один из факторов, способствующих возникновению гипертонической болезни.

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.

В рамках проекта предусматривается (ГОСТ 12.1.029-80 Средства и методы защиты от шума).

Таблица 6.5 – Допустимые уровни шума

Рабочие места	Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц								Уровни звука и эквивалентные уровни звука, дБА
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Операторная	103	91	83	77	73	70	68	66	75

6.2.6 Пожаробезопасность

Производство относится к категории В. В цехе присутствует один объект представляющий пожароопасность – участок подогрева отходящих газов.

Основные средства защиты от пожара, находящиеся на производстве, следующие:

- порошковые огнетушители объёмом 100 л (10 шт);
- резервуары с водой;
- покрытие пожаростойким материалом;
- пожарный сигнал в АБК.

6.3 Экологическая безопасность

Экологическая безопасность – допустимый уровень негативного воздействия природных и антропогенных факторов, а также ЧС природного и техногенного характера и их последствий на ОС и человека. С экологической безопасностью тесно связан экологический риск - вероятность наступления события, имеющего неблагоприятные последствия для природной среды и вызванного негативным воздействием хозяйственной и иной деятельности, чрезвычайными ситуациями природного и техногенного характера. Под окружающей средой понимается совокупность компонентов природной среды, природных и природно-антропогенных объектов, а также антропогенных объектов. К компонентам

									Лист
									87
изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					

природной среды относятся земля, недра, почвы, поверхностные и подземные воды, атмосферный воздух, растительный, животный мир и иные организмы, а также озоновый слой атмосферы и околоземное космическое пространство, обеспечивающие в совокупности благоприятные условия для существования жизни на Земле. Под природным объектом обычно понимается естественная экологическая система, природный ландшафт и составляющие их элементы, сохранившие свои природные свойства; природно-антропогенный объект - это природный объект, измененный в результате хозяйственной и иной деятельности, и/или объект, созданный человеком, обладающий свойствами природного объекта и имеющий рекреационное и защитное значение; а антропогенный объект - это объект, созданный человеком для обеспечения его социальных потребностей и не обладающий свойствами природных объектов.

В ходе нормальной работы теплообменника охлаждения серной кислоты не происходит загрязнение атмосферы и водоемов вредными выбросами.

Таблица 6.6 – Предельно допустимые концентрации вредных веществ в воздухе населенных пунктов (ПДК), мг/м³

Наименование вещества	максимально разовая	среднесуточная
Диоксид серы	0,5	0,05
Серная кислота	0,3	0,1
Триоксид серы	1	0,1

6.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Чрезвычайная ситуация (ЧС) – это нарушение нормальных условий жизнедеятельности людей на определенной территории, вызванное аварией, катастрофой, стихийным или экологическим бедствием, а также массовым инфекционным заболеванием, которое может приводить к людским или материальным потерям.

К техногенным относятся чрезвычайные ситуации, происхождение которых связано с техническими объектами: взрывы, пожары, аварии на химически опасных объектах, выбросы РВ на радиационно опасных объектах, аварии с выбросом экологически опасных веществ, обрушение зданий, аварии на системах жизнеобеспечения, транспортные катастрофы и др.

Настоящий стандарт устанавливает общие требования к жизнеобеспечению населения, пострадавшего в чрезвычайных ситуациях, причиной возникновения которых являются стихийные (природные) бедствия или техногенные аварии и катастрофы (ГОСТ

						Лист
изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		88

22.3.01-97 Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Жизнеобеспечение населения в чрезвычайных ситуациях. Общие требования).

Основными целями комплекса стандартов БЧС являются:

- повышение эффективности мероприятий по предупреждению и ликвидации ЧС на всех уровнях (федеральном, региональном, местном) для обеспечения безопасности населения и объектов народного хозяйства в природных, техногенных, биолого-социальных и военных ЧС; предотвращение или снижение ущерба в ЧС;
- эффективное использование и экономия материальных и трудовых ресурсов при проведении мероприятий по предупреждению и ликвидации ЧС.

Аварийная обстановка в может возникнуть в следующих ситуациях:

- нарушение герметичности оборудования и трубопроводов;
- загазованность территории и производственных помещений, в результате утечек газа или разлива продукта через фланцевые соединения, дефектные участки трубопроводов, аппаратов или внезапным прекращением подачи водяного пара, сжатого воздуха для приборов КИП, охлаждающей оборотной воды, инертного газа (азота);
- возникновение пожара, вследствие несоблюдения техники пожарной безопасности.

Обязательным условием безопасного ведения технологического процесса является соблюдение всех технологических параметров, соблюдение которых обязательно для исключения возникновения взрывов, пожаров, отравлений, а также для обеспечения нормальных санитарно-гигиенических параметров, условий труда работающих. Безопасность процесса обеспечивается грамотным ведением технологического режима, систематическим контролем рабочих параметров обслуживающим персоналом с записью параметров в оперативном журнале, систематическим просмотром журнала начальником цеха для анализа причин нарушения и принятия мер по их устранению.

При возникновении аварийного положения необходимо сообщить старшему оператору, оповестить весь персонал и немедленно принять соответствующие меры, а в случае необходимости вызвать пожарную команду и газо-спасателей.

Для обеспечения быстрой и безопасной эвакуации людей в зданиях с массовым пребыванием людей (кроме жилых домов), а также на объекте с рабочими местами на этаже для 10 более человек должны быть разработаны и вывешены планы (схемы) эвакуации людей при пожаре (рис. 6.1). Важность наличия правильно разработанных планов обусловлена тем, что именно с их использованием связана эффективность проведения практических тренировок всех задействованных в эвакуации работников.

План эвакуации должен состоять из текстовой и графической части, определяющей действия персонала по обеспечению безопасной и быстрой эвакуации людей.

						Лист
изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		89

На плане этажа должны быть показаны: лестничные клетки, лифты и лифтовые холлы, помещения, балконы, наружные лестницы, а также двери лестничных клеток, лифтовых холлов и двери, расположенные на пути эвакуации. Основной путь эвакуации на плане указывается сплошной линией, а запасной – пунктирной линией зеленого цвета. Эти линии должны быть в два раза толще линий плана этажа.



Рисунок 6.1 – План эвакуации

Основной путь эвакуации на этаже указывается в направлении незадымляемых лестничных клеток, а также лестниц, ведущих с данного этажа на 1 этаж здания в вестибюль или непосредственно наружу. Если две лестничные клетки равноценны по защищенности от дыма и огня, то основной путь указывается до ближайшей лестницы. Лестничные клетки, содержащиеся в рабочее время закрытыми, считать запасным эвакуационным выходом.

На плане этажа с помощью символов указывается место размещения:

- плана эвакуации;
- ручных пожарных извещателей;
- телефонов, по которым можно сообщить в пожарную охрану;
- огнетушителей;
- пожарных кранов;
- установок пожаротушения.

6.5 Вывод

При выполнении раздела «Социальная ответственность» были рассмотрены основные опасные и вредные производственные факторы сернокислотного производства, определены ПДК вредных веществ.

Был произведен расчет искусственного и естественного освещения, проведен анализ пожарной безопасности проектируемого объекта.

При рассмотрении экологической безопасности выявлено, что при нормальной эксплуатации объекта загрязнения окружающей среды не происходит

						Лист
						91
изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проделанной работы были проведены технологический расчет, целью которого явилось определение поверхности теплообмена, число труб, обеспечивающих объемный расход серной кислоты, а также подбор штуцеров. В Конструктивном расчете продуманы: способ размещения и крепления в них теплообменных трубок, трубных решеток к кожуху; конструктивной схемы поперечных перегородок и расстояния между ними; распределительных камер, крышек и днищ аппарата; фланцев, прокладок и крепежных элементов; конструкции компенсирующего устройства, воздушников, отбойных щитков, опор и т.п. При выборе материала использовали ГОСТ 15199-79, 15120-79, 15121-79, в которых указаны материалы основных деталей в зависимости от группы материального исполнения. Группа материального исполнения – М1. Материал: кожуха - В СтЗсп5 ГОСТ 14637-79; распределительной камеры и крышки - В СтЗсп5 ГОСТ 14637-79; трубы - сталь 1Х21Н5Т ГОСТ 5632-87. Основные размеры для размещения отверстий под трубы 25x2 мм в трубных решетках выбираем диаметр предельной окружности, за которой не располагают отверстия под трубы, - $D_0 = 387$ мм, $2R = 383$ мм. Крепление труб в трубной решетке – развальцовкой с отбортовкой. Толщину стенки корпуса в соответствии с ГОСТ 26291-94 - 6 мм., а толщину обечайки 5 мм. Диаметр отверстий для труб в перегородках 28 мм (ГОСТ 15118-79). Был произведен расчет и выбор распределительной камеры, крышки, днища аппарата, штуцеров, фланцев, прокладок и крепежных элементов. Выбраны опоры, произведена проверка установки компенсирующего устройства.

В разделе социальная ответственность были рассмотрены производственная, экологическая безопасность, безопасность в чрезвычайных ситуациях.

					ФЮРА			
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата				
Разраб.		Михайлова Г.Р.			Заключение	Лит.	Лист	Листов
Руковод.		Горлушко Д.А.					92	1
Консульт.						ИШПНТ ТПУ Группа: 3-4Г61		
Н. контр.								
Рук-ль ООП		Беляев В.М						

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Бесков В.С. «Общая химическая технология» Учебник для вузов. М.:ИКЦ «Академкнига» 2005 г.
2. Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям ИТС 2-2019 «Производство аммиака, минеральных удобрений и неорганических кислот»
3. «Теплотехника и оборудования промышленных предприятий»: 2013 г. (электронный ресурс) https://studme.org/tehnika/vidy_klassifikatsiya_teploobmennyh_apparatorov (дата обращения 07.04.21г.)
4. Сухов В.В, Казаков Г. М. «Основы конструирования и расчета теплообменных аппаратов» Методические указания, полиграфический центр ННГАСУ. Н. Новгород. 2009г.
5. Bstudy - (info.bstudy.net) Статьи для высших учебных заведений (электронный ресурс) https://bstudy.net/922911/tehnika/rekuperativnye_teploobmennye_apparaty 2017г.-2021г. (дата обращения: 04.04.2021 г.)
6. «Торговый дом САРРЗ» каталог теплообменников (электронный ресурс) <https://tdsarrz.ru/search/?q=%D0%B0%D0%B4%D1%80%D0%B5%D1%81&button> 2021 г. (дата обращения 29.03.2021 г.)
7. ГОСТ 15119-79. Испарители кожухо-трубчатые с неподвижными трубными решетками и кожухо-трубчатые с температурным компенсатором на кожухе. Основные параметры и размеры. – М.: Изд-во стандартов, 1979.
8. ГОСТ 34233.2–2017. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Расчет цилиндрических и конических обечаек, выпуклых и плоских днищ и крышек.
9. ГОСТ 15121-79. Конденсаторы кожухо-трубчатые с неподвижными трубными решетками и кожухо-трубчатые с температурным компенсатором на кожухе. Основные параметры и размеры. – М.: Изд-во стандартов, 1979.

					ФЮРА			
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата				
Разраб.		Михайлова Г.Р.			Список литературы	Лит.	Лист	Листов
Руковод.		Горлушко Д.А.					93	2
Консульт.						ИШПНТ ТПУ Группа: 3-4Г61		
Н. контр.								
Рук-ль ООП		Беляев В.М						

10. ГОСТ 15122-79. Теплообменники кожухо-трубчатые с неподвижными трубными решетками и кожухо-трубчатые с температурным компенсатором на кожухе. Основные параметры и размеры. – М.: Изд-во стандартов, 1979.

11. Outotec GmbH Ludwig-Erhard-Straße – Oberursel, Germany. Инструкция по эксплуатации сернокислотного цеха (СКЗ). Описание технологического процесса (СКЗ) 2013г.

12. ГОСТ 15119-79. Испарители кожухо-трубчатые с неподвижными трубными решетками и кожухо-трубчатые с температурным компенсатором на кожухе. Основные параметры и размеры. – М.: Изд-во стандартов, 1979.

13. ГОСТ 34233.7–2017. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Теплообменные аппараты.

14. ГОСТ 15121-79. Конденсаторы кожухо-трубчатые с неподвижными трубными решетками и кожухо-трубчатые с температурным компенсатором на кожухе. Основные параметры и размеры. – М.: Изд-во стандартов, 1979.

15. ГОСТ 15122-79. Теплообменники кожухо-трубчатые с неподвижными трубными решетками и кожухо-трубчатые с температурным компенсатором на кожухе. Основные параметры и размеры. – М.: Изд-во стандартов, 1979.

16. Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям ИТС 2-2019 «Производство аммиака, минеральных удобрений и неорганических кислот»

17. Павлов К.Ф., Романков П.Г., Носков А.А. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии–Л: Химия, 1987. – 576 с.

18. ГОСТ 5264–80. Ручная дуговая сварка. Соединения сварные. Основные типы, конструктивные элементы и размеры (с Изменением № 1).

						Лист
						94
изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		