

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

Институт Электронного обучения
Специальность Машины и аппараты химических производств
Кафедра Общей химии и химической технологии

ДИПЛОМНЫЙ ПРОЕКТ/РАБОТА

Тема работы
Проект реконструкции теплообменника и сушильной башни серно-кислотного цеха меде-плавильного завода

УДК 661.25 021.4.047

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5001	Эшанкулов А.С.		

Руководитель

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

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Рыжакина Т.Г.	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Антоневич О.А.	к.б.н		

По разделу «Механо-технологический раздел»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Семакина О.К.	к.т.н., доцент		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Тихонов В.В.	к.т.н., доцент		

Томск – 2016 г.

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

Институт электронного обучения

Направление подготовки (специальность) Машины и аппараты
химических производств

Кафедра Общей Химии и Химической Технологии

УТВЕРЖДАЮ:

Зав. кафедрой

_____ Тихонов В.В
(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Дипломного проекта

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

Студенту:

Группа	ФИО
3-5001	Эшанкулов Азизбек Сулайманкул угли

Тема работы:

**Проект реконструкции теплообменника и сушильной башни
сернокислотного цеха меде-плавильного завода**

Утверждена приказом директора (дата,
номер)

25.04.2016г № 3107/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:

01.06.2016

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе</p> <p>(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.).</p>	<p>Режим работы непрерывный. Сырьем серноокислотного производства является отходящие серосодержащие металлургические газы с содержанием $SO_2=7\%$ $SO_3=0.3\%$ $O_2=15\%$ $CO_2=6.7\%$ $N_2=68.9\%$. Товарная продукция- сера техническая по ГОСТ 2184-77 “Кислота серная техническая “. Массовая доля моногидрата $H_2SO_4=92.5=94\%$. Электроснабжение потребителей серноокислотного производства осуществляется по 2-й категории от двухсекционного распределительного устройства 6кВ(РУ-6кВ).</p> <p>Материалы преддипломной практики.</p>
<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</p> <p>(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).</p>	<p>1) Введение: значения технологии серноокислотного производства для промышленности и населения, объём рынка.</p> <p>2) Краткие физико-химические основы технологии серноокислотного производства технологическая схема сушильной и контактно компрессорного отделения.</p> <p>3) Физико-химические основы технологии приготовления серной кислоты, классификация добавок, их состав и назначение.</p> <p>4) Технологическая схема производства серной кислоты.</p> <p>5) Технологический режим работы аппаратов для оптимального режима работы.</p> <p>6) Вопросы социальной ответственности и безопасной эксплуатации аппаратов.</p> <p>7) Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</p> <p>8) Заключение (выводы).</p>
<p>Перечень графического материала</p> <p>(с точным указанием обязательных чертежей)</p>	<p>1) Технологическая схема производства серной кислоты (1-2 листа А1)</p> <p>2) Чертежи общего вида сушильной башни и теплообменника (6-7 листов А1)</p> <p>3) Монтажная схема аппарата (1-2 листа А1)</p> <p>4) Экономические показатели проекта (1 лист А1)</p>

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы (с указанием разделов)	
Раздел	Консультант
Социальная ответственность	Доцент Антоневи́ч О.А.
Финансовый менеджмент ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Доцент Рыжакина Т.Г.
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
Реферат	

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

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Беляев Василий Михайлович	Канд. техн. наук		

Задание принял к исполнению студент: Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5001	Эшанкулов Азизбек Сулайманкул угли		

Реферат

Данная дипломная работа состоит из графической части и пояснительной записки.

Графическая часть содержит 9 листов формата А1.

Пояснительная записка содержит листов формата А4, таблиц рисунков, источников литературы и приложение.

Сушильная башня, осушка воздуха АО “ Алмалыкский ГМК” серноокислотный цех, кожухотрубчатый теплообменник.

Объектом исследования является оборудования сушильной и контактно компрессорной отделении серноокислотного цеха для получения серной кислоты.

Цель работы реконструкция сушильной башни и теплообменника с целью повышения производительности.

Произведено описание технологической схемы сушильного и контактно компрессорного отделения.

Выполнен технологический, конструктивный и механический расчет сушильной башни и кожухотрубчатого теплообменника.

Описано схема автоматизации процесса.

В связи с применением на производстве пожароопасных и токсичных веществ, в проекте рассмотрены вопросы безопасности жизнедеятельности.

Выполнен расчет монтажа сушильной башни. Экономическая часть выражена в калькуляции 1 тонны серной кислоты.

Определены основные технико-экономические показатели.

Дипломная работа выполнена в текстовом редакторе Microsoft Word 2007.

Оглавление

Введение.....	9
1. Техничко- экономические обоснование	9
2. Технология производства.....	10
2.1. Описание технологического процесса получения серной кислоты	10
2.2. Краткая характеристика сырья и готовой продукции.....	15
3. Расчет сушильной Башни.....	17
3.1.Технологический расчет [1, с 16]	17
3.2. Механический расчет Сушильной башни	19
3.2.1. Расчет толщины стенки цилиндрической обечайки	19
3.2.2. Определение толщины стенки сферического днища сушильной башни [3].....	22
3.2.3. Определение толщины стенки эллиптической крышки сушильной башни [3].....	22
3.3.Расчет укрепления отверстий	24
3.3.1.Расчет укрепление отверстий в обечайке	24
3.3.2. Укрепление отверстий в сферическом днище ГОСТ Р 52857.3[4,с.13]	25
3.3.3. Укрепления отверстий в эллиптической крышке [4,с.16]	25
3.4. Механический расчет тарелки под насадку	26
3.5. Расчет опоры сушильной башни	27
3.6. Расчет фланцевых соединений	29
4. Расчет кожухотрубчатого теплообменника №528	40
4.1. Технологический расчет.....	40
4.1.1. Характеристика теплообменника №528[6,с 56].....	40
4.1.2. Физико-химические характеристики теплоносителей.....	41
4.1.3. Ориентировочный выбор теплообменника	46
4.1.4. Уточненный расчет теплообменника.....	46
4.1.5. Расчет гидравлического сопротивления теплообменника	52
4.2. Механический расчет теплообменника	55
4.2.1. Расчет на прочность цилиндрической обечайки [9].....	56
4.2.2. Расчет на прочность конического днища ГОСТ Р 52857.2— 2007	56
4.2.3. Расчет на прочность конической крышки	59

4.2.4. Расчеты на прочность укрепления отверстий	60
4.2.5. Расчет фланцевого соединения	61
4.3. Поверочный механический расчет теплообменника	71
4.3.1. Расчет элементов кожухотрубчатых теплообменных аппаратов.....	85
4.3.2. Проверка прочности трубных решёток	106
4.3.3. Проверка жесткости трубных решеток.....	106
4.3.4. Расчет прочности и устойчивости кожуха	108
4.3.5. Расчет труб на прочность, устойчивость и жесткость и расчет крепления труб в решетке	109
4.3.6. Дополнительные требования к толщинам трубных решеток	112
4.4. Расчет тепловой изоляции теплообменника [14].....	114
5. Монтаж технологического оборудования	116
5.1. Этапы монтажа технологического оборудования	116
5.2. Описание способа монтажа.....	117
5.3. Расчет траверсы.....	118
5.4. Расчет и подбор полиспаста для монтажа сушильной башни ...	120
5.5. Расчет витого канатного стропа	123
6. Автоматизация производства.	125
6.1. Назначения системы:	125
6.2. Краткая характеристика объекта управления.	125
6.3. Анализ сушильного отделения с точки зрения автоматизации и описание схемы автоматизации.....	126
6.4. Анализ контактного отделения с точки зрения автоматизации и описание схемы автоматизации.....	126
7. Финансовый менеджмент. Ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	129
7.1. Расчет производственной мощности предприятия	129
7.2. Расчет себестоимости готовой продукции по действующему производству.....	130
7.3. Расчет затрат на производство продукции	134
7.4. Определение цены готовой продукции	136
7.5. Анализ безубыточности по действующему производству	137
7.6. Расчет производственной мощности на плановый период при увеличении объема производства на 10%	138

7.7. Расчет себестоимости готового продукта в проектном году ...	138
7.8. Определение цены готовой продукции	139
7.9. Анализ безубыточности при увеличении производительности на 10%	139
8. Социальная ответственность	142
8.1. Введение.....	144
8.2. Производственная безопасность	145
4. Опасность поражения электрическим током регулируется	145
8.3. Химические факторы.....	146
8.4. Характеристика опасных факторов.....	148
8.5. Экологическая безопасность.....	149
8.6. Безопасность в чрезвычайных ситуациях.	153
8.7. Пожарная безопасность.....	156
8.8. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.	158
9. Список использованной литературы	160

Введение

Химическая промышленность, является основой народного хозяйства.

Значение химической промышленности возрастает. Её продукция используется во всех сферах человеческой деятельности и в быту.

В то же время необходимо отметить, что основными проблемами развития химической промышленности являются сильный перекос в её структуре в сторону основной химии слабое развитие новейших и наукоёмких видов химической промышленности.

Структура химической промышленности постоянно усложняется и совершенствуется. За последние годы выделились в самостоятельные отрасли микробиология и фармацевтическая промышленность. Возникла новая под-отрасль - бытовая химия.

Химическая промышленность состоит из следующих отраслей:

- 1) Горно-химическая (добыча минерального сырья: апатиты, фосфориты, сера).
- 2) Основная химия (получение кислот, щелочей, солей, минеральных удобрений).
- 3) Химия органического синтеза (производство углеводородного сырья и полуфабрикатов для получения полимерных материалов).
- 4) Химия полимеров (производство смол, пластмасс, синтетического каучука и химических волокон).
- 5) Переработка полимерных материалов (изготовление шин, резины, полиэтиленовой пленки).

Из многочисленных критериев, характеризующих степень совершенства любого оборудования, наиболее общим являются технико-экономические показатели: производительность оборудования расходные коэффициенты, стоимость оборудования и расходы на его эксплуатацию, и себестоимость продукции.

1. Техничко- экономические обоснование

В промышленности серную кислоту получают окислением диоксида серы (сернистый газ, образующийся в процессе сжигания серы или серного колчедана) до три оксида (серного ангидрида) с последующим взаимодействием SO_3 с водой. Получаемую данным способом серную кислоту также называют контактной (концентрация 92-94 %)

Основная же особенность серной кислоты состоит в том, что она принадлежит к числу сильных и является самой дешевой кислотой.

Свыше 1800 промышленных установок во всем мире вырабатывают этот ценнейший продукт химической промышленности. Мировое производство серной кислоты достигает примерно 300 млн. т/год.

В настоящее время серную кислоту получают в основном контактным методом. Развитие этого метода по пути увеличения производительности контактных систем, усовершенствование отдельных стадий процесса, улучшения конструкции аппаратов и регулирование процесса приводит к увеличению производительности.

Строительство объектов производства серной кислоты предусматривается на промышленной площадке медеплавильного завода и предполагает более полное использование сернистого ангидрида из отходящих газов, образующихся при плавке медного концентрата, с увеличением мощности выпуска до 500 тыс. т/год 100% серной кислоты и выведением из эксплуатации морально устаревших мощностей цеха СК-2.

Сернокислотный цех АО «Алмалыкский ГМК» по производству серной кислоты контактным способом вышел на свою проектную мощность 2014 году 500000 тонн серной кислоты в год. Со времени пуска завода, силами эксплуатационного персонала был предложен и внедрен ряд технических решений, направленных на повышения надежности работы оборудования, повышения его эффективности и улучшений условий труда. Выполнение данных мероприятий позволило освоить новую проектную мощность серной кислоты.

Состав проектируемых объектов:

- отделение очистки газа;
- контактно-компрессорное отделение;
- сушильно-абсорбционное отделение;
- энергоцентр. ЦПУ;

Кожухотрубчатые теплообменники весьма компактны, поступают в собранном виде. Стоимость монтажных работ теплообменника в 2 раза дешевле, чем пластинчатых теплообменников.

По всем показателям кожухотрубчатый теплообменник выгодно отличается от пластинчатого теплообменника.

2. Технология производства

2.1. Описание технологического процесса получения серной кислоты

Сырьем для проектируемого производства серной кислоты является металлургический газ, содержащий сернистый ангидрид от плавильных агрегатов медеплавильного производства ОАО «Алмалыкский ГМК».

Параметры металлургического газа для номинального режима эксплуатации производства серной кислоты:

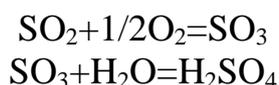
- количество ~ 200000 нм/час;
- температура +350°C;
- давление (разрежение): (-1,0) кПа.

Состав газа для номинального режима эксплуатации:

- содержание SO₂ - 7,0% об.;
- содержание SO₃ - 0,3% об.;
- содержание N₂ 68,9% об.;
- содержание O₂ - 15,0% об.;
- содержание HF 475 мг/нм³
- Пыль 0,5 т/ч (2,5 г/нм³).

Готовой продукцией является кислота серная, соответствующая ГОСТ 2184-77 «Кислота серная техническая». Массовая доля моногидрата H₂SO₄ = 92,5Н-94%

В основе получения серной кислоты из этого сырья лежат следующие реакции:



Производство серной кислоты из отходящих газов медеплавильного производства состоит из следующих объектов:

- отделение очистки газа - предназначено для извлечения пыли и вредных примесей, а также снижения температуры газа;
- сушильно-абсорбционное отделение - предназначено для сушки технологического газа и получения товарной серной кислоты абсорбционным поглощением серного ангидрида концентрированным раствором серной кислоты;
- контактно-компрессорное отделение - предназначено для транспортирования технологического газа по сернокислотной системе, а также каталитического окисления сернистого ангидрида (SO₂) в серный ангидрид(SO₃);

Метод производства серной кислоты - одинарное контактирование и одинарная абсорбция по «длинной» схеме. Степень конверсии ~ 98,807%. Степень абсорбции - 99,95%.

Основные технические решения, принятые при разработке технологической схемы производства серной кислоты позволяют учитывать колебания количества и состава исходного металлургического газа.

Отходящий металлургический газ от плавильных агрегатов медеплавильного производства содержит значительное количество примесей, а именно: пыль, возгоны металлов, туман серной кислоты, водяные пары.

В отделении очистки газа происходит постепенное охлаждение и мокрая очистка газового потока в квенчерной башне, затем в параллельно работающих скрубберах Контуры I и II, охладительных башнях I и II и далее на двух ступенях мокрых электрофильтров.

Для сбора проливов предусмотрены приямки, из которых погружными насосами поз.СБО 1-GP005, СЕО 1-GP004 стоки направляются на очистные сооружения (до границы проектирования).

Для трубопроводов транспортирующих техническую воду и воздух КИП предусмотрен электрообогрев с теплоизоляцией.

Охлажденный и очищенный технологический газ из отделения очистки газа поступает в сушильно-абсорбционное отделение в сушильную башню на осушку от водяных паров.

Осушка газа производится за счет развитой в сушильной башне поверхности массообмена, создаваемой двумя слоями насадки обеспечивающей оптимальное распределение кислоты и газа.

Для улавливания, образуемого в сушильной башне кислотного тумана, в её верхней части установлен сетчатый фильтр.

Циркуляция орошения серной кислоты производится через вертикальный сборник кислоты имеющего объем 38 м³ при помощи погружного кислотного насоса 3.AD01-GP001. Производительность кислотного насоса составляет 1220 м³/час, что полностью обеспечивает оптимальную плотность орошения сушильной башни, а также позволяет орошать задействованную в технологическом процессе отдувочную башню.

Для исключения возможности превышения давления обратной воды над давлением кислоты в холодильниках сушильно-абсорбционного отделения, на подводящем коллекторе предусмотрен редуцирующий клапан, понижающий давление воды до 350 кПа. Также, как дополнительная мера безопасности, установлены на линии обратной воды после холодильников предохранительные клапаны для сброса давления воды свыше 400 кПа.

Перепад температур охлаждающей обратной воды составляет T_C . С целью недопущения перегрева обратной воды между подающим и возвратным коллекторами предусматривается байпасная линия Ду500 с запорной арматурой позволяющая поддерживать требуемый температурный режим.

После осушки, технологический газ, предварительно подогретый до температуры зажигания катализатора в трех выносных и одном встроенном теплообменных аппаратах, поступает на первый слой контактирования в конвертер контактно-компрессорного отделения. Здесь происходит экзотермическая реакция окисления SO_2 в SO_3 на ванадиевом катализаторе. Снижение температуры происходит за счет охлаждения газа во встроенном в конвертер теплообменном аппарате.

В основе производства серной кислоты контактным методом лежит процесс окисления газообразного SO_2 в SO_3 в присутствии ванадиевого катализатора (V_2O_5) и кислорода.

Окисление SO_2 осуществляется в четырехслойном конвертере со встроенным газовым теплообменным аппаратом в центральной трубе. После каждого слоя газ охлаждается в теплообменных аппаратах: после первого слоя во встроенном теплообменном аппарате, после второго, третьего и четвертого слоев - в выносных.

На 1 слое катализатора степень конверсии SO_2 составляет -79,88%. После 1 слоя газ охлаждается в трубном пространстве встроенного теплообменного аппарата от температуры 583°C до температуры 446°C .

Далее газ направляется на 2 слой конвертера, после чего идет на охлаждение в трубное пространство теплообменного аппарата от температуры 476°C до 425°C . На втором слое -96,27% совокупного количества SO_2 преобразуется в SO_3 .

На третьем слое катализатора -98,21% общего количества SO_2 преобразуется в SO_3 . Полученный газ охлаждается в трубном пространстве теплообменного аппарата с температуры 434°C до температуры 411°C и далее поступает на четвертый слой конвертера.

На четвертом слое достигаемый общий результат эффективности конверсии составляет -98,807%. Газ покидает четвертый слой катализатора с температурой 422°C , затем охлаждается в трубном пространстве теплообменных аппаратов и до температуры 182°C и направляется на абсорбцию в сушильно-абсорбционного отделения.

После 4-го слоя конвертера охлажденный газ поступает в сушильно-абсорбционное отделение к абсорбционной башне, где после поглощения из него серного ангидрида отводится в атмосферу, через существующую выхлопную трубу. Технологический газ, содержащий $\text{SO}_3=6,99\%$ об с расходом $201850 \text{ м}^3/\text{ч}$ и температурой 182°C , подается в нижнюю часть абсорбционной башни по 3, AF01-HS001 и распределяется по всему сечению.

Сверху насадка орошается кислотой, которая распределяется плавно и равномерно по всей секции. Узел распределения кислоты в башне состоит из особой системы труб, спроектированной компанией «Outotec», и выполненных из нержавеющей стали. Концентрированная серная кислота распределяется по башне через отверстия, устраиваемые в верхней части распределительных труб. Поскольку давление кислоты в системе

распределения почти равняется атмосферному, то кислота распределяется равномерно по всей секции насадки.

Абсорбция газа производится за счет развитой в абсорбционной башне поверхности массообмена, создаваемой двумя слоями насадки обеспечивающей оптимальное распределение кислоты и газа. В качестве насадки, используются седла «Intalox». Нижний слой - 3" седла, верхний слой - 2" седла. Общая высота насадочного слоя 3,5 м.

В верхней части абсорбционной башни предусмотрены свечные фильтры для улавливания кислотного тумана (обычно размером 1-2 микрон).

В ходе вышеприведенной химической реакции полученная концентрированная серная кислота собирается в нижней части абсорбционной башни и по двум независимым трубопроводам сливается в вертикальный сборник кислоты поз-AF01-CMO01, имеющего объем 34 м³. На данных трубопроводах предусмотрена установка фильтров.

Так как процесс абсорбирования SO₃ серной кислотой является экзотермическим, для охлаждения циркуляционной серной кислоты от температуры ~98°C до температуры 70°C, предусматривается холодильник кислоты поз. AF01-EP001 с поверхностью теплообмена 887 м². Для поддержания температуры орошаемой кислоты, на кислотной линии минуя холодильник, оборудована байпасная линия с регулирующей арматурой. В качестве холодного теплоносителя используется обратная вода в количестве 4420 м³/час. Для защиты от коррозии, холодильник оборудован анодной защитой.

Подача кислоты на холодильник, а после него и на распределительное устройство абсорбционной башни выполняется при помощи погружного кислотного насоса поз.AF01-GP001. Производительность кислотного насоса составляет 1650 м³/час что полностью обеспечивает оптимальную плотность орошения абсорбционной башни, а также позволяет производить подачу концентрированной кислоты в цикл орошения сушильной и отдувочной башен.

В качестве топлива для предварительного нагревателя предусматривается подвод природного газа из сети завода. Технологический процесс производства серной кислоты - непрерывный, механизированный, максимально автоматизированный, при нормальной эксплуатации не требует применения ручного труда.

Соблюдение норм и требований технологического режима:

- обеспечивает нормальную, безаварийную работу, как отдельных единиц оборудования, так и всего производства в целом;
- исключает брак производства;
- обеспечивает поддержание в пределах допустимых стандартами норм по выбросам вредных веществ в окружающую среду;
- предупреждает производственный травматизм персонала.

С целью достижения необходимых объемов по выпуску готовой продукции требуемого качества, соблюдения регламентируемых экологических показателей и безаварийного течения технологического

процесса производство серной кислоты должно вестись в строгом соблюдении оптимальных норм технологического режима и требований по аналитическому контролю

2.2. Краткая характеристика сырья и готовой продукции

Чистая серная кислота представляет собой бесцветную маслянистую жидкость, превращающуюся при 10, 4°С в твёрдую кристаллическую массу. Продажная концентрированная кислота содержит примерно 96, 5% H_2SO_4 ; плотность её составляет 1, 84 г/см³. Неразбавленная кислота чувствуется по весу: 1 литр весит почти 2 кг.

При растворении серной кислоты в воде выделяется большое количество тепла (19 ккал на моль кислоты) вследствие образования гидратов. Гидраты могут быть выделены из раствора в твёрдом виде при низких температурах.

Серная кислота обладает способностью поглощать пары воды и поэтому может применяться для осушения газов. Способностью поглощать воду объясняется и обугливание многих органических веществ, особенно относящихся к классу углеводов (клетчатка, сахар и др.), при действии на них концентрированной серной кислоты. В состав углеводов водород и кислород входят в таком же соотношении, в каком они находятся в воде. Серная кислота отнимает от углеводов элементы воды, а углерод выделяется в виде угля.

Из-за малой летучести серной кислоты её используют для вытеснения других, более летучих кислот из их солей.

Серная кислота является энергичным окислителем; её окислительные свойства проявляются при взаимодействии со многими веществами.

Серная кислота должна быть изготовлена в соответствии с требованиями настоящего стандарта по технологическому регламенту, утвержденному в установленном порядке. Готовой продукцией является кислота серная, соответствующая ГОСТ 2184-77 «Кислота серная техническая». Массовая доля моногидрата $H_2SO_4 = 92,5H-94\%$.

3. Расчет сушильной Башни

3.1. Технологический расчет [1, с 16]

Исходные данные

Производительность по H_2SO_4 $\underline{G} := 30000 \frac{\text{кг}}{\text{ч}}$

Концентрация кислоты, орошающей башню $\underline{C} := 96 \%$

Температура воздуха на входе в башню $t_{\text{ввх}} := 160\text{C}$

Температура кислоты на входе в башню $t_{\text{квх}} := 70\text{C}$

Температура кислоты на выходе из башни $t_{\text{квых}} := 90\text{C}$

Давление паров воды в воздухе на входе в башню $P_1 := 35.6 \text{ мм рт.ст.}$

Давление паров воды в воздухе на выходе из башни $P_2 := 0.076 \text{ мм рт.ст.}$

Разряжение в системе $P_p := 22 \text{ мм рт.ст.}$

Скорость газа в насадке $\omega := 0.8 \text{ м/с}$

Барометрическое давление $P := 760 \text{ мм рт.ст.}$

Принимаем

степень окисления $x := 0.98$

полноту поглощения абсорбера $Z := 0.99$

Тогда при

начальная концентрация сернистого ангидрида $a := 0.07$

Универсальная газовая постоянная $RT := 22.4 \text{ м}^3/\text{к моль}$

Молярная масса кислоты $M_k := 98.08 \text{ кг/к моль}$

Молярная масса воды $M_v := 18 \text{ кг/к моль}$

По формуле [1, с 255] получим объемный расход газообразного SO_3 ,
 $\text{м}^3/\text{ч}$

$$\underline{V} := \frac{G \cdot RT}{Z \cdot a \cdot x \cdot M_k} \quad V = 1.009 \times 10^5$$

Количество паров воды, кг/ч, поглощаемых из газа, определим по уравнению [2,с.243]

$$Q := \frac{V \cdot (P_1 - P_2) \cdot M_B}{(P - P_2 - P_p) \cdot RT} \quad Q = 3.903 \times 10^3 \frac{\text{кг}}{\text{ч}}$$

Коэффициент скорости абсорбции паров воды для 96% кислоты при константе $K_0 = 0.038$ мм рт.ст. [Амелин ОХТ с. 244] определим по уравнению [2,с.243]

$$K := 0.038 \cdot 0.8^{0.8} \quad K = 0.032$$

Равновесное давление паров воды над серной кислотой при 90°C по данным [2,с.249] составляет

$$P_{11} := 2.0 \text{ мм рт.ст.}$$

$P_{22} := 2.0$ мм рт.ст. Тогда средне логарифмическая разность давлений паров воды

$$\Delta P := \frac{(P_1 - P_{22}) - (P_2 - P_{22})}{\ln \left[\frac{-(P_1 - P_{22})}{P_2 - P_{11}} \right]} = 12.42 \text{ мм рт.ст.}$$

Поверхность насадки определяется по формуле [1,с.255]

$$F_1 := \frac{Q}{K \cdot \Delta P} \quad F_1 = 9.885 \times 10^3 \text{ м}^2$$

Из опыта эксплуатации известно, что насадка башни обычно используется не полностью, поэтому принимаем коэффициент запаса 1,20. Тогда поверхность насадки рассчитываемой сушильной башни должна быть равной

$$F := 1.2 \cdot F_1, \quad F = 1.186 \times 10^4 \text{ м}^2$$

Насадка имеет вид правильно уложенных колец Рашига размером 50x50 мм.

Поверхность 1 м³ такой насадки равна 110 м². Тогда общий объем насадки составит

$$V_H := \frac{F}{110} = 107.835 \text{ м}^3$$

Находим внутренний диаметр сушильной башни по формуле [1,с.256]

$$D_B = \sqrt{\frac{4 \cdot V_t}{\pi \cdot \omega \cdot 3600}}$$

где V_t - объем воздуха при температуре $t = 40^\circ\text{C}$ и барометрическом давлении $P=760$ мм рт.ст.

$$D_B := \sqrt{\frac{4 \cdot V \cdot (273 + 70) \cdot 760}{3.14 \cdot \omega \cdot 3600 \cdot 273 \cdot (760 - 22)}} = 7.599 \text{ м}$$

По формуле [2,с.255] определяем высоту насадки

$$H := \frac{4 \cdot V_H}{\pi \cdot D_B^2}, H = 2.378 \text{ м}$$

3.2. Механический расчет Сушильной башни

3.2.1. Расчет толщины стенки цилиндрической обечайки

Расчет толщины стенки цилиндрической обечайки проведем по ГОСТ Р 52857.2-2007 [3]

Внутренний диаметр аппарата, м $D_{вн} := 7.5$

рабочее давление среды, МПа $P_p := 0.04$

коэффициент прочности сварных швов $\phi := 1$

допускаемое напряжение стали О9Г2С, МПа

при $t=20$ С $\sigma_{доп20} := 183$

при $t=90$ С $\sigma_{доп90} := 162$

минимальное значение предела текучести стали при $t=20$ С, МПа

$\sigma_T := 280$

скорость коррозии стали, мм/год $\Pi := 0.1$

предполагаемый срок службы аппарата, лет $\tau := 20$

модуль упругости стали, МПа $E := 1.99 \cdot 10^5$

Допускаемое напряжение для стали О9Г2С при пневматическом испытании

$$n := 1.2 \sigma_{исп} := \frac{\sigma_T}{n} = 233.333 \text{ МПа}$$

Для сосудов, работающих под вакуумом, расчетное давление при определении давления испытания принимается равным 0,1 МПа [ГОСТ Р 52630-2012 Сосуды и аппараты стальные сварные. Общие ТУ]

$$P := 0.1 \text{ МПа}$$

Пробное давление при пневматическом испытании, МПа

$$P_{и} := 1.25 \cdot P \cdot \frac{\sigma_{доп20}}{\sigma_{доп90}} \quad P_{и} = 0.141$$

Прибавка к расчетной толщине стенки для компенсации коррозии

$$c := P \cdot \tau = 2$$

Определяем расчетную и исполнительную толщину стенки цилиндрической обечайки с учетом прибавки коррозию

$$Sp1 := P \cdot \frac{D_{вн} \cdot 1000}{2 \cdot \phi \cdot \sigma_{доп90} - P} = 2.316$$

$$Sp1 + c = 4.316 \text{ мм}$$

при пневматических испытаниях

$$Sp2 := P_{и} \cdot \frac{D_{вн} \cdot 1000}{2 \cdot \phi \cdot (\sigma_{исп}) - P_{и}} = 2.27$$

$$Sp2 + c = 4.27 \text{ мм}$$

Принимаем конструктивно значение толщины стенки обечайки с учетом требования устойчивости

$$S_{ио} := 12 \text{ мм}$$

Условие применимости формул выполняется:

$$\frac{S_{ио} - c}{D_{вн} \cdot 1000} = 1.333 \times 10^{-3}$$

$$1.467 \times 10^{-3} < 0.1$$

Проверяем цилиндрическую обечайку на устойчивость в рабочих условиях при коэффициенте запаса устойчивости $n_{у} := 2.4$

$$F_{доп1} := \pi \cdot \left(D_{вн} + \frac{S_{ио} - c}{1000} \right) \cdot \left(\frac{S_{ио} - c}{1000} \right) \cdot \sigma_{доп90}$$

$$F_{доп1} = 38.221 \text{ МН}$$

$$F_{\text{доп2}} := \left(\frac{310 \cdot 10^{-6} \cdot E}{\rho y} \right) \cdot D_{\text{вн}} \cdot \left(\frac{100 \cdot \frac{S_{\text{ио}} - c}{1000}}{D_{\text{вн}}} \right)^2 \cdot \sqrt{100 \cdot \left(\frac{S_{\text{ио}} - c}{D_{\text{вн}}} \right)}$$

$$F_{\text{доп2}} = 1.251 \text{ МН}$$

$$F_{\text{обш}} := \frac{F_{\text{доп1}}}{\sqrt{1 + \left(\frac{F_{\text{доп1}}}{F_{\text{доп2}}} \right)^2}} \quad F_{\text{обш}} = 1.251 \text{ МН}$$

$$\text{масса аппарата } \underline{m} := 51300 \text{ кг}$$

$$\text{ускорение свободного падения } g = 9.807 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$\underline{F} := m \cdot g = 5.031 \times 10^5 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \quad \underline{F} := 0.513 \text{ МН}$$

Находим допускаемое наружное давление в рабочих условиях

$$R_{\text{доп1}} := \frac{2 \cdot \phi \cdot \sigma_{\text{доп90}} \cdot (S_{\text{ио}} - c)}{D_{\text{вн}} \cdot 1000 + (S_{\text{ио}} - c)}$$

$$R_{\text{доп1}} = 0.431 \text{ МПа}$$

в рабочих условиях

$$\frac{F}{F_{\text{обш}}} = 0.41$$

при проведении пневматическом испытаний

$$R_{\text{доп2}} := \frac{2 \cdot \phi \cdot \sigma_{\text{исп}} \cdot (S_{\text{ио}} - c)}{D_{\text{вн}} \cdot 1000 + (S_{\text{ио}} - c)}$$

$$R_{\text{доп2}} = 0.621 \text{ МПа}$$

наружное давления действующее на обечайку $R_{\text{н}} := 0.1 \text{ МПа}$

Проверяем условие устойчивости

$$\frac{R_{\text{н}}}{(R_{\text{доп1}})} + \frac{F}{(F_{\text{обш}})} < 1 \quad \frac{R_{\text{н}}}{(R_{\text{доп1}})} + \frac{F}{(F_{\text{обш}})} = 0.642 < 1$$

Условие устойчивости выполняется

3.2.2. Определение толщины стенки сферического днища сушильной башни [3]

Расчетная толщина сферического днища

при рабочих условиях

$$H_d := 870 \text{ мм}$$

$$S_{р\text{дн}1} := P_p \cdot \left(\frac{D_{вн} \cdot 1000}{4 \cdot \phi \cdot \sigma_{доп90} - P_p} \right) \cdot \frac{D_{вн} \cdot 1000}{2 \cdot H_d}$$

$$S_{р\text{дн}1} = 1.996 \text{ мм}$$

при пневматических испытаниях

$$S_{р\text{дн}2} := P_{и} \cdot \left(\frac{D_{вн} \cdot 1000}{4 \cdot \phi \cdot \sigma_{доп90} - P_{и}} \right) \cdot \frac{D_{вн} \cdot 1000}{2 \cdot H_d}$$

$$S_{р\text{дн}2} = 7.046 \text{ мм}$$

из условия округление толщины стенки сферического днища принимаем максимальное значение толщины и округляем до стандартного значения

$$S_{идн} := 22 \text{ мм}$$

находим допускаемое давление

при рабочих условиях

$$P_{доп\text{дн}1} := \frac{4 \cdot \phi \cdot \sigma_{доп90}}{\left(\frac{D_{вн} \cdot 1000}{S_{идн} - c} \right) \cdot \left(\frac{D_{вн} \cdot 1000}{2 \cdot H_d} \right) + 1}$$

$$P_{доп\text{дн}1} = 0.401 \text{ МПа}$$

при пневматических испытаниях

$$P_{доп\text{дн}2} := \frac{4 \cdot \phi \cdot \sigma_{исп}}{\left(\frac{D_{вн} \cdot 1000}{S_{идн} - c} \right) \cdot \left(\frac{D_{вн} \cdot 1000}{2 \cdot H_d} \right) + 1}$$

$$P_{доп\text{дн}2} = 0.577 \text{ МПа}$$

3.2.3. Определение толщины стенки эллиптической крышки сушильной башни [3]

Расчетная толщина стенки эллиптической крышки при рабочих условиях

$$D_{внк} := 5.63 \text{ м}$$

$$S_{ркр1} := \left(P_p \cdot \frac{D_{внк} \cdot 1000}{2 \cdot \phi \cdot \sigma_{доп90} - 0.5 \cdot P_p} \right) + c$$

$$S_{ркр1} = 2.695 \text{ мм}$$

при пневматических испытаниях

$$S_{ркр2} := P_{и} \cdot \left(\frac{D_{внк} \cdot 1000}{4 \cdot \phi \cdot \sigma_{исп} - P_{и}} \right) + c$$

$$S_{ркр2} = 2.852 \text{ мм}$$

Из условия округление толщины стенки эллиптической крышки принимаем максимальное значение толщины и округляем до стандартного значения

$$S_{икр} := 22 \text{ мм}$$

Находим допускаемое давление

при рабочих условиях

$$P_{допкр1} := 2 \cdot \phi \cdot \sigma_{доп90} \cdot \frac{S_{идн} - c}{D_{внк} \cdot 1000 + 0.5 \cdot (S_{идн} - c)}$$

$$P_{допкр1} = 1.149 \text{ МПа}$$

при пневматических испытаниях

$$P_{допкр2} := 2 \cdot \phi \cdot \sigma_{исп} \cdot \frac{S_{идн} - c}{D_{внк} \cdot 1000 + 0.5 \cdot (S_{идн} - c)} = 1.655$$

$$P_{допкр2} = 1 \cdot 1.655 \text{ МПа}$$

таким образом для обечайки

$$P_p < P_{доп1}$$

$$0.04 < 0.431$$

$$P_{и} = 0.141 \text{ МПа}$$

$$P_{доп2} = 0.621 \text{ МПа}$$

$$P_{и} < P_{доп2}$$

для сферического днища

$$P_p = 0.04 \text{ МПа}$$

$$R_{допдн1} = 0.401 \text{ МПа}$$

$$P_r < R_{допдн1}$$

$$P_i = 0.141 \text{ МПа}$$

$$R_{допдн2} = 0.577 \text{ МПа}$$

$$P_i < R_{допдн2}$$

Для эллиптической крышки $P_r = 0.04 \text{ МПа}$

$$R_{допкр1} = 1.149 \text{ МПа}$$

$$P_r < R_{допкр1}$$

$$P_i = 0.141 \text{ МПа}$$

$$R_{допкр2} = 1.655 \text{ МПа}$$

$$P_i < R_{допкр2}$$

таким образом при толщине стенки $s=22$ обеспечивается прочность сферического днища, при толщине стенки $s=12\text{мм}$ обеспечивается прочность цилиндрической обечайки сушильной башни, при толщине стенки $S=22\text{мм}$ обеспечивается прочность эллиптической крышки как в рабочем состоянии, так и при пневматических испытаниях

3.3. Расчет укрепления отверстий

Расчет укрепления отверстий проводится по ГОСТ 52857.3-2007 [4,с.4]

3.3.1. Расчет укрепление отверстий в обечайке

Расчетный диаметр укрепляемой цилиндрической оболочки

$$D_p := D_{вн} \cdot 1000$$

$$D_p := 7500\text{мм}$$

Минимальное расстояние между отверстиями, когда их можно считать одиночным

$$2 \cdot \sqrt{D_p \cdot (S_{идн} - c)} = 774.597 \text{ мм}$$

Все отверстия в цилиндрической обечайке можно считать одиночными.

По ГОСТ ГОСТР52857.3 расчетный диаметр одиночного отверстия, не требующего дополнительного укрепления при наличии избыточной толщины стенки сосуда равен

$$2 \cdot \left(\frac{S_{\text{ию}} - c}{S_{\text{п1}}} - 0.8 \right) \cdot \sqrt{D_{\text{р}} \cdot (S_{\text{ию}} - c)} = 1.927 \times 10^3 \text{ мм}$$

следовательно, отверстия значения диаметра которых больше, необходимо укреплять

3.3.2. Укрепление отверстий в сферическом днище ГОСТ Р 52857.3[4,с.13]

Проверяем необходимость укрепления отверстия под штуцер выхода кислот в днище.

Находим расчетный диаметр сферического днища

$$R_c := 7500 \text{ мм}$$

$$D_c := 2 \cdot R_c$$

$$D_{\text{рдн}} := D_c \cdot 1000$$

$$D_{\text{рдн}} = 1.5 \times 10^7 \text{ мм}$$

по ГОСТ 24755-81 расчетный диаметр одиночного отверстия, не требующего дополнительного укрепления, при наличии избыточной толщины стенки в сферическом днище равен

$$2 \cdot \left(\frac{S_{\text{идн}} - c}{S_{\text{рдн1}}} - 0.8 \right) \cdot \sqrt{D_{\text{рдн}} \cdot (S_{\text{идн}} - c)} = 3.195 \times 10^5 \text{ мм}$$

Следовательно, отверстие в сферическом днище под штуцер выхода кислот не требует дополнительного укрепления.

3.3.3. Укрепления отверстий в эллиптической крышке [4,с.16]

Проверяем необходимость отверстий под люки лазы в эллиптической крышке.

Находим расчётный диаметр эллиптической крышки при $r := 1900 \text{ мм}$

Расстояние от центра укрепляемого отверстия до оси эллиптической крышки

$$D_{\text{кр}} := 2 \cdot D_{\text{внк}} \cdot 1000 \cdot \sqrt{1 - 3 \cdot \left(\frac{r}{D_{\text{внк}} \cdot 1000} \right)^2}$$

$$D_{\text{кр}} = 9.136 \times 10^3 \text{ мм}$$

Рассчитаем минимальное расстояние наружными поверхностями двух соседних люков -лазов в крышке

$$2 \cdot \sqrt{D_{\text{кр}} \cdot (S_{\text{кр}} - c)} = 854.918$$

Следовательно, отверстия в эллиптической крышке можно считать одиночными.

По ГОСТ24755-81 расчетный диаметр одиночного отверстия не требующего дополнительного укрепления, при наличии избыточной толщины стенки в эллиптической крышке равен

$$2 \cdot \left(\frac{S_{\text{кр}} - c}{S_{\text{кр}1}} - 0.8 \right) \cdot \sqrt{D_{\text{кр}} \cdot (S_{\text{кр}} - c)} = 5.66 \times 10^3 \text{ мм}$$

Следовательно, отверстия в эллиптической крышке под люки лазы не требуют дополнительного укрепления

3.4. Механический расчет тарелки под насадку

Исходные данные

Диаметр тарелки $D := 7.5 \text{ м}$

Равномерная нагрузка $P := 0.019 \text{ МПа}$

Допускаемое напряжение $\sigma_{\text{д}} := 162 \text{ МПа}$

Коэффициент Пуассона $\mu := 0.3$

Модуль упругости для стали 09Г2С $E := 1.99 \cdot 10^{11} \text{ Па}$

Определим толщину тарелки

$$S_{\text{T}} := 0.56 \cdot D \cdot \sqrt{\frac{P}{\sigma_{\text{д}}}} \quad S_{\text{T}} = 0.045 \text{ м}$$

Прогиб в центре тарелки при

$$N := \frac{E \cdot S_{\text{T}}^3}{12 \cdot (1 - \mu)} \quad N = 2.229 \times 10^6 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$R := \frac{D}{2}$$

$$\omega := 4.08 \cdot \frac{P \cdot R^4}{64 \cdot N} = 1.074 \times 10^{-7} \text{ м}$$

Величина прогиба тарелки не должно превышать 1/2000 её диаметра

$$\frac{1}{2000} \cdot D = 3.75 \times 10^{-3} \text{ м}$$

условия выполняется

Следовательно, укрепление каркасом тарелке не требуется, но как диаметр тарелки большой, конструкцией предусмотрено три параллельных балки.

3.5. Расчет опоры сушильной башни

Конструкция опоры соответствует РТМ 26-319-79. Расчет опоры проводится по ГОСТ Р 52857.5 – 2007 [?]

Осевое напряжение от внутреннего давления и изгибающего момента определяется по формуле:

$$\sigma_{\text{max}} := \left(\frac{P \cdot D}{4 \cdot S_u} \right) + \frac{4 \cdot M}{\pi \cdot D^2 \cdot S_u}$$

Определим входящие в формулу величины

$$m := 5130 \text{ кг}$$

$$g := 9.81 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$$

$$h := 1540 \text{ мм}$$

$$D := 750 \text{ мм}$$

$$S_u := 22 \text{ мм}$$

$$m_H := 84000 \text{ кг}$$

$$P := 0.04 \text{ МПа}$$

$$m := m_H + m$$

$$m = 8.913 \times 10^5$$

$$F := m \cdot g$$

$$F = 8.744 \times 10^6 \text{ Н}$$

$$M := F \cdot h$$

$$M = 1.347 \times 10^{11} \text{ Н} \cdot \text{мм}$$

$$\sigma_{m0x} := \left(\frac{P \cdot D}{4 \cdot S_u} \right) + \frac{4 \cdot M}{\pi \cdot D^2 \cdot S_u}$$

$$\sigma_{m0x} = 141.95 \text{ МПа}$$

Окружное напряжение от внутреннего давления:

$$\sigma_{m0y} := \frac{(P \cdot D)}{2 \cdot S_u} \sigma_{m0y} = 6.818 \text{ МПа}$$

Максимальное мембранное напряжение от основных нагрузок и отношения:

$$\sigma_{m0} := \sigma_{m0y}$$

Максимальное мембранное напряжение от основных нагрузок и реакции опоры определяется по формуле:

$$\sigma_m := \sigma_{m0} + \frac{K1 \cdot Q_e}{D \cdot S_u^2}$$

$$K1 := 3.2$$

$$b := 0.35$$

$$f_{\max} := 0.105$$

$$e := 0.5 \cdot (b + f_{\max} + S_u)$$

$$e = 11.227$$

$$\lambda_1 := 2$$

$$\lambda_2 := 1$$

$$z := 4$$

$$Q_e := \left(\frac{\lambda_1 \cdot P}{z} \right) + \frac{\lambda_2 \cdot M}{D + 2 \cdot e}$$

$$Q_e = 1.79 \times 10^7 \text{ Н}$$

$$\sigma_m := \sigma_{m0} + \frac{K1 \cdot Q_e}{D \cdot S_u^2}$$

$$\sigma_m = 22.598 \text{ МПа}$$

Максимальное напряжение от изгиба реакции опоры определяется по формуле:

$$K_2 := 1.4$$

$$\sigma_{II} := \frac{K_2 \cdot Q_e}{h \cdot S_u^2}$$

$$\sigma_{II} = 3.362 \text{ МПа}$$

Проверим условие прочности:

$$\underline{A} := 1$$

$$\sigma_t := 240 \text{ МПа}$$

$$\frac{\sigma_m}{\sigma_t^2} + \left(\frac{0.8}{A} \right) \cdot \frac{\sigma_{II}}{\sigma_t} \leq 1$$

$$\frac{\sigma_m}{\sigma_t^2} + \left(\frac{0.8}{A} \right) \cdot \frac{\sigma_{II}}{\sigma_t} = 0.012 \quad 0.012 \leq 1$$

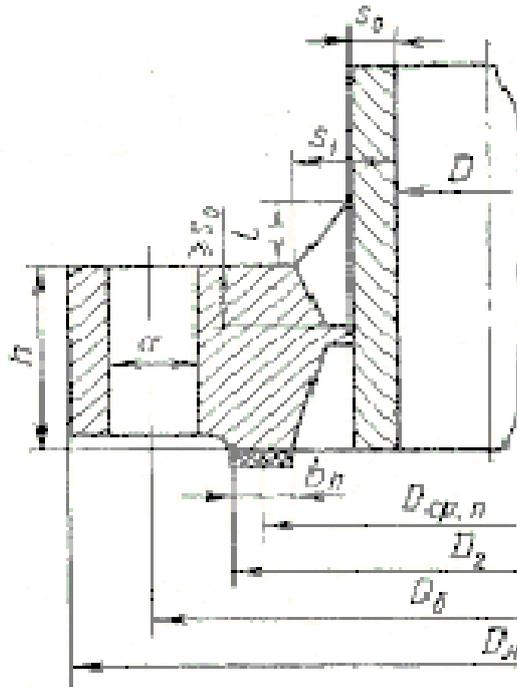
Условие прочности выполняется

3.6. Расчет фланцевых соединений

Расчет фланцевых соединений проводится по ГОСТ Р 52857.4 2007 [5, с.11]

Исходные данные

Рис. расчетная схема фланца



Толщина стенки штуцера $S_0 := 10$ мм

Расчетное давление $P_p := 0.04$ МПа

температура среды $t := 150$ С

Материал фланца сталь 09Г2С

Материал болтов 35Х

Принимаем фланцы неизолированные, плоские, приварные.

Коэффициент прочности сварных швов $\mu := 1$

Внутренний диаметр штуцера $D_{внш} := 1000$ мм

Диаметр болтов $d := 20$ мм

Сумма прибавок к расчетным толщинам стенок $c := 2.8 \cdot 10^{-3}$ м

Материал прокладки - фторопласт

Расчет фланцев проводится в соответствии с ГОСТ 26-373-78

Диаметр болтовой окружности при нормативном зазоре $u := 3$ мм

$D_b := D_{внш} + 2 \cdot (2 \cdot S + d + u)$

$D_b = 1.086 \times 10^3$ примем $D_b := 1090$ мм

Наружный диаметр фланца при конструктивной добавке для шестигранных гаек $d=16$

$$D_H := D_6 + a \quad D_H = 1.09 \times 10^3 \text{ мм}$$

Примем $\underline{D_H} := 1150 \text{ мм}$

Наружный диаметр прокладки

нормативный параметр для плоских прокладок

$$\underline{e} := 30 \text{ мм}$$

$$D_1 := D_6 - e \text{ мм}$$

$$D_1 = 1.06 \times 10^3$$

примем

$$\underline{D_1} := 1100 \text{ мм}$$

Шаг размещения болтов на болтовой окружности до 0.3 МПа

$$t_{ш} := 4.2 \cdot d$$

$$t_{ш} = 84 \text{ мм}$$

количество болтов

$$\underline{n_6} := \frac{\pi \cdot D_6}{t_{ш}} \quad n_6 := 40.766$$

примем количество болтов $\underline{n_6} := 42$

Средний диаметр прокладки

Ширина прокладки

$$\underline{b} := 15 \text{ мм}$$

$$D_{сп} := D_1 - b \text{ мм}$$

$$D_{сп} = 1.085 \times 10^3$$

Равнодействующая внутреннего давления:

$$F_d := \frac{P_p \cdot \pi \cdot (D_{сп} \cdot 10^{-3})^2}{4}$$

$$F_d = 0.037 \text{ МН}$$

Реакция прокладки:

коэффициент зависящий от материала и конструкций

$$k_{пр} := 2.5$$

эффективная ширина прокладки при мм определяется

$$b < 15$$

$$b_0 := b \cdot 10^{-3}$$

$$b_0 = 0.015 \text{ м}$$

тогда

$$R_{п} := \pi \cdot D_{сп} \cdot b_0 \cdot P_p \cdot 10^{-3}$$

$$R_{п} = 2.045 \times 10^{-3} \text{ МН}$$

усилие возникающих от температурных деформаций;

коэффициент линейного расширения материала фланцев и болтов

$$\alpha_{ф} := 16.6 \cdot 10^{-6} \frac{1}{\text{C}}$$

$$\alpha_{б} := 13.1 \cdot 10^{-6} \frac{1}{\text{C}}$$

расчетная температура неизолированных фланцев

$$t_{ф} := 0.96 \cdot t$$

$$t_{ф} = 144 \text{ C}$$

расчетная температура болтов

$$t_{б} := 0.95 \cdot t$$

$$t_{б} = 142.5 \text{ C}$$

Модуль упругости для болтов

$$E_{б} := 1.98 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

дополнительные размеры для определения коэффициента:

$$S_1 := 10 \text{ мм}$$

$$S_0 := 10 \text{ мм}$$

Эквивалентная толщина втулки плоского приварного фланца:

$$S_{ЭК} := S_0 \cdot 10^{-3} \text{ мм}$$

$$S_{ЭК} = 0.01$$

высота фланца при давлении до 0.3 МПа

$$\lambda_{ф1} := 0.375$$

$$h_{ф} := \lambda_{ф1} \cdot \sqrt{D_{внш} \cdot S_{ЭК} \cdot 10^3}$$

$$h_{ф} = 37.5$$

примем высоту фланца

$$h_{ф} := 24 \text{ мм}$$

Расчетная площадь поперечного сечения болта по внутреннему диаметру резьбы

$$f_b := 2.20 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$$

Толщина прокладки

$$h_{п} := 3 \text{ мм}$$

Расстояние между опорными поверхностями головки болта и гайки

$$l_{б0} := 2 \cdot h_{ф} + h_{п}$$

$$l_{б0} = 51 \text{ мм}$$

Диаметр отверстия под болт:

$$d_0 := 23 \text{ мм}$$

Расчетная длина болта:

$$l_b := l_{б0} + 0.28 \cdot d_0$$

$$l_b = 57.44 \text{ мм}$$

примем

$$l_b := 65 \cdot 10^{-3} \text{ м}$$

Податливости болтов, прокладки фланца:

$$У_b := \frac{l_b}{E_b \cdot f_b \cdot n_b} \frac{\text{м}}{\text{МН}}$$

$$Уб = 3.553 \times 10^{-5} \quad \underline{h_{п}} := 3 \cdot 10^{-3} \text{ м}$$

Модуль упругости фторопластовой прокладки

$$E_{п} := 2000 \text{ МПа}$$

коэффициент обжатие прокладки, для фторопласта

$$k_{п} := 1$$

$$У_{п} := \frac{k_{п} \cdot h_{п}}{E_{п} \cdot \pi \cdot D_{сп} \cdot b \cdot 10^{-6}} = 2.934 \times 10^{-5} \quad \frac{\text{М}}{\text{МН}}$$

$$\lambda_{ф} := \frac{h_{ф} \cdot 10^{-3}}{\sqrt{D_{внш} \cdot S_{ЭК} \cdot 10^{-3}}}$$

$$\lambda_{ф} = 0.24$$

$$\psi_2 := \frac{D_{н} \cdot 10^{-3} + D_{внш} \cdot 10^{-3}}{D_{н} \cdot 10^{-3} - D_{внш} \cdot 10^{-3}}$$

$$\psi_2 = 14.333$$

$$\psi_1 := 1.28 \cdot \log \left[\frac{(D_{н} \cdot 10^{-3})}{(D_{внш} \cdot 10^{-3})} \right]$$

$$\psi_1 = 0.078$$

$$v := \frac{1}{1 + 0.9 \cdot \lambda_{ф} \cdot \left[1 + \psi_1 \cdot \frac{(h_{ф} \cdot 10^{-3})^2}{S_{ЭК}^2} \right]}$$

$$v = 0.762$$

угловая податливость фланца

модуль упругости фланца для стали 09Г2С

$$\underline{E} := 1.99 \cdot 10^5$$

$$У_{ф} := \frac{[1 - v \cdot (1 + 0.9 \cdot \lambda_{ф})] \cdot \psi_2}{(h_{ф} \cdot 10^{-3})^3 \cdot E}$$

$$Уф = 0.384$$

$$F_t := \frac{Уб \cdot нб \cdot фб \cdot Еб \cdot (\alphaф \cdot tф - \alphaб \cdot тб)}{Уп + Уб + 0.5 \cdot Уф \cdot (Dб \cdot 10^{-3} - Dсп \cdot 10^{-3})^2}$$

$$F_t = 0.489 \text{ МН}$$

Коэффициент жесткости фланцевого соединения

$$кж := \frac{Уб + 0.5 \cdot Уф \cdot (Dб \cdot 10^{-3} - Dвнш \cdot 10^{-3} - Sэж) \cdot (Dб \cdot 10^{-3} - Dсп \cdot 10^{-3})}{Уп + Уб + 0.5 \cdot Уф \cdot (Dб \cdot 10^{-3} - Dсп \cdot 10^{-3})^2}$$

$$кж = 1.612$$

Болтовая нагрузка в условиях монтажа до подачи внутреннего давления:

минимальное давление обжатие прокладки

$$Рпр := 10 \text{ МПа}$$

$$Fб11 := кж \cdot Fд + Rп$$

$$Fб11 = 0.062 \text{ МН}$$

$$Fб12 := \pi \cdot Dсп \cdot b0 \cdot Рпр \cdot 0.5 \cdot 10^{-3}$$

$$Fб12 = 0.256 \text{ МН}$$

$$Fб1 := \max(Fб11, Fб12)$$

$$Fб1 := 0.256 \text{ МН}$$

Болтовая нагрузка в рабочих условиях:

$$Fб2 := Fб1 + (1 - кж) \cdot Fд + F_t$$

$$Fб2 = 0.722 \text{ МН}$$

Приведенный изгибающий момент:

$$M01 := 0.5 \cdot (Dб \cdot 10^{-3} - Dсп \cdot 10^{-3}) \cdot Fб1$$

$$M01 = 6.4 \times 10^{-4} \text{ МН} \cdot \text{м}$$

нормативное допускаемое напряжение для стали 09Г2С при t=20 С

$$\sigma_{доп20} = 183 \text{ МПа}$$

нормативное допускаемое напряжение для стали 09Г2С при t=90 С

$$\sigma_{доп90} = 162 \text{ МПа}$$

$$A := (D_6 \cdot 10^{-3} - D_{сп} \cdot 10^{-3}) \cdot F_62$$

$$M02 := 0.5 \cdot [A + (D_{сп} \cdot 10^{-3} - D_{внш} \cdot 10^{-3} - S_{эж}) \cdot F_d] \cdot \frac{\sigma_{доп20}}{\sigma_{доп90}}$$

$$M02 = 3.606 \times 10^{-3} \text{ МН} \cdot \text{м}$$

$$M0 := \max(M01, M02)$$

$$M0 = 3.606 \times 10^{-3} \text{ МН} \cdot \text{м}$$

Проверка прочности и герметичности соединения:

Условие прочности болтов фланцевого соединения при монтаже и в его рабочем состоянии

Допускаемое напряжение для болтов при $t=20 \text{ C}$

$$\sigma_{д20} := 230 \text{ МПа}$$

Допускаемое напряжение для болтов при $t=90 \text{ C}$

$$\sigma_{д90} := 230 \text{ МПа}$$

$$\frac{F_61}{n_6 \cdot f_6} < \sigma_{д20}$$

$$\frac{F_62}{n_6 \cdot f_6} < \sigma_{д90}$$

$$z := \frac{F_61}{n_6 \cdot f_6}$$

$$z = 27.706 \text{ МПа}$$

$$27.706 < 230$$

$$z1 := \frac{F_62}{n_6 \cdot f_6}$$

$$z1 := 56.986 \text{ МПа}$$

$$56.986 < 230$$

условия прочности болтов выполняется.

Условия прочности неметаллической прокладки из фторопласта -4

Допускаемое напряжение обжатия прокладки

$$P_d := 40 \text{ МПа}$$

$$F_{b\max} := \max(F_{b1}, F_{b2})$$

$$F_{b\max} = 0.722 \text{ МПа}$$

$$\frac{F_{b\max}}{\pi \cdot D_{сп} \cdot 10^{-3} \cdot b \cdot 10^{-3}} < P_d$$

$$P_d = 40$$

$$z2 := \frac{F_{b\max}}{\pi \cdot D_{сп} \cdot 10^{-3} \cdot b \cdot 10^{-3}}$$

$$z2 = 14.121$$

$$14.121 < 40$$

условие прочности прокладки выполняется

Безразмерный параметр

$$T_{\phi} := \frac{(D_H \cdot 10^{-3})^2 \cdot \left[1 + 8.55 \cdot \log \left[\frac{(D_H \cdot 10^{-3})}{(D_{ВНШ} \cdot 10^{-3})} \right] \right] - (D_H \cdot 10^{-3})^2}{\left[1.05 \cdot (D_{ВНШ} \cdot 10^{-3})^2 + 1.945 \cdot (D_H \cdot 10^{-3})^2 \right] \cdot \left(\frac{D_H \cdot 10^{-3}}{D_{ВНШ} \cdot 10^{-3}} - 1 \right)}$$

$$T_{\phi} = 1.263$$

Максимальное напряжение в сечении, ограниченном размером S_0 :

так как у плоского приварного фланца втулка цилиндрическая

$$\frac{S_1}{S_0} = 1$$

$$D_y > 20 \cdot S_1$$

$$(1_m > 20 \cdot 0.01)$$

$$\text{то } f_{\phi} := 1$$

$$\sigma_0 := f_{\phi} \cdot \frac{T_{\phi} \cdot M_0 \cdot v}{D_{ВНШ} \cdot 10^{-3} \cdot (S_1 \cdot 10^{-3} - c)^2}$$

$$\sigma_0 = 66.931 \text{ МПа}$$

окружное усилие в кольце фланца:

$$\sigma_k := \frac{M_0 \cdot [1 - \nu \cdot (1 + 0.9 \cdot \lambda \phi)] \cdot \psi^2}{(\lambda \phi \cdot 10^{-3})^2 \cdot (D_{\text{внш}} \cdot 10^{-3})}$$

$$\sigma_k = 6.607 \text{ МПа}$$

Напряжение во втулке от внутреннего давления:

тангенциальное

$$\sigma_{\text{тан}} := \frac{P \cdot (D_{\text{внш}} \cdot 10^{-3})}{2 \cdot (S_0 \cdot 10^{-3} - c)}$$

$$\sigma_{\text{тан}} = 2.778 \text{ МПа}$$

меридиональное

$$\sigma_M := \frac{P \cdot (D_{\text{внш}} \cdot 10^{-3})}{4 \cdot (S_0 \cdot 10^{-3} - c)}$$

$$\sigma_M = 1.389 \text{ МПа}$$

Условия прочности для сечения, ограниченного размером S_0 :

$$\sqrt{(\sigma_0 \cdot \sigma_M)^2 + \sigma_{\text{тан}}^2} - (\sigma_0 + \sigma_M) \cdot \sigma_{\text{тан}} < \mu \cdot \sigma_{\text{д0}}$$

$$\sigma_{\text{д0}} := 0.003 \cdot E$$

$$\sigma_{\text{д0}} = 597 \text{ МПа}$$

$$\sqrt{(\sigma_0 \cdot \sigma_M)^2 + \sigma_{\text{тан}}^2} - (\sigma_0 + \sigma_M) \cdot \sigma_{\text{тан}} = 91.975 \text{ МПа}$$

$$\mu \cdot \sigma_{\text{д0}} = 597 \text{ МПа}$$

$$91.975 \text{ МПа} < 597 \text{ МПа}$$

условия прочности для сечения, ограниченного размером S_0 выполняется

Условие герметичности, определяемое углом поворота фланца

$$\theta_d := 0.009$$

Допускаемый угол поворота приварного в стык фланца при

$$D_y := 1000 < 2000$$

$$\theta < \theta_d$$

$$\theta := \left(\frac{\sigma_k}{E} \right) \cdot \frac{(D_{\text{внш}} \cdot 10^{-3})}{h_f \cdot 10^{-3}} = 1.383 \times 10^{-3}$$

$$1.172 \times 10^{-3} < 0.009 \text{ рад}$$

условия герметичности выполняется

Результаты расчетов фланцевых соединений с условными диаметрами

150 мм 800 мм 900 мм 1200 мм 550 мм

4. Расчет кожухотрубчатого теплообменника №528

4.1. Технологический расчет

4.1.1. Характеристика теплообменника №528[6,с 56]

Наименование	Ед. изм.	Норма	№ потока на схеме материального баланса
Температура газа в межтрубном пространстве теплообменного аппарата :			
- на входе	°С	20	531
- на выходе	°С	313	532
Температура газа в трубном пространстве теплообменного аппарата :			
- на входе	°С	412	528
- на выходе	°С	158	530
Давление газа в межтрубном пространстве теплообменного аппарата :			
- на входе	кПа	4,1	531
- на выходе	кПа	3,3	532
Давление газа в трубном пространстве теплообменного аппарата :			
- на входе	кПа	7,7	528
- на выходе	кПа	6,4	530
Расход воздуха на входе в межтрубное пространство теплообменного аппарата	нм ³ /ч	126000	531

Горячий теплоноситель - сернистый газ

Поток №	528	530
Название	Газ	Газ
Объемный поток, нм ³ /ч	100000	100000
SO ₂ , об. %	0,08	0,08
SO ₃ , об. %	6,99	6,99
O ₂ , Об. %	12,75	12,75
N ₂ , Об. %	73,53	73,53
CO ₂ , об. %	6,65	6,65
H ₂ O, об. %		
Температура, С	412	158
Давление, кПа	7,7	6,4

$$t_{1н} := 412\text{C}$$

$$t_{1к} := 158\text{C}$$

$$c_1 := 746 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$$

$$V_1 := 10000 \left(\frac{\text{нм}^3}{\text{ч}} \right)$$

Холодный теплоноситель - атмосферный воздух

Поток №	531	532
Название	Газ	Газ
Объемный поток, нм ³ /ч	126000	126000
SO ₂ , об, %		
SO ₃ , об. %		
O ₂ , Об. %	20,95	20,95
N ₂ , Об. %	77,02	77,02
CO ₂ , об. %	0,03	0,03
H ₂ O, об. %	2,0	2,0
Температура, С	20	313
Давление, кПа	3,3	3,3

$$t_{2н} := 20\text{C}$$

$$t_{2к} := 313\text{C}$$

$$V_2 := 1.26 \cdot 10^5 \frac{\text{нм}^3}{\text{ч}}$$

4.1.2. Физико-химические характеристики теплоносителей

Массовый расход воздуха

При нормальных условиях

$$\rho_2 := 1.293 \frac{\text{кг}}{\text{нм}^3}$$

$$G_2 := \frac{V_2 \cdot \rho_2}{3600}$$

$$G_2 = 45.255 \frac{\text{кг}}{\text{с}}$$

ORIGIN := 1

Свойства смеси газов, входящих в сернистый газ

Молекулярные веса и объемные доли газов, входящих в сернистый газ, при нормальных условиях (1 - SO₂, 2 - SO₃, 3 - O₂, 4- N₂, 5- CO₂):

$$M := \begin{pmatrix} 64 \\ 80 \\ 32 \\ 28 \\ 44 \end{pmatrix} \quad x := \begin{pmatrix} 8 \cdot 10^{-4} \\ 0.0699 \\ 0.1275 \\ 0.7353 \\ 0.0665 \end{pmatrix}$$

Плотности газов (1 - SO₂, 2 - SO₃, 3 - O₂, 4- N₂, 5- CO₂), $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$

$$\rho_1 := \frac{M_1}{22.4} = 2.857 \quad \rho_2 := \frac{M_2}{22.4} = 3.571$$

$$\rho_3 := \frac{M_3}{22.4} = 1.429 \quad \rho_4 := \frac{M_4}{22.4} = 1.25$$

$$\rho_5 := \frac{M_5}{22.4} = 1.964$$

Плотность смеси газов

$$\rho_{\text{см}} := x_1 \cdot \rho_1 + x_2 \cdot \rho_2 + x_3 \cdot \rho_3 + x_4 \cdot \rho_4 + x_5 \cdot \rho_5 = 1.484 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

Массовый расход смеси газов при плотности $\rho_{\text{см}} = 1.484$

$$G1 := \frac{V1 \cdot \rho_{\text{см}}}{3600} G1 = 41.217 \frac{\text{кг}}{\text{с}}$$

Физико-химические характеристики горячего теплоносителя при средней температуре t1

$$t1 := \frac{t1_{\text{н}} + t1_{\text{к}}}{2} t1 = 285 \text{ C}$$

$$[1, \text{с } 140]_{\rho t1} := \frac{\rho_{\text{см}} \cdot 273}{(273 + 285)} \rho t1 = 0.726 \text{ кг/м}^3$$

Теплоемкость газов при t_1 (1 - SO₂, 2 - SO₃, 3 - O₂, 4- N₂, 5- CO₂),
Дж/(кг*К)

$$c_1 := 681 \quad c_2 := 746$$

$$c_3 := 951$$

$$c_4 := 1051$$

$$c_5 := 950$$

Теплоемкость смеси газов [1,с 142]

$$c_{\text{см}} := x_1 \cdot c_1 + x_2 \cdot c_2 + x_3 \cdot c_3 + x_4 \cdot c_4 + x_5 \cdot c_5 = 1.01 \times 10^3 \text{ Дж/(кг*К)}$$

Вязкость газов при t_1 (1 - SO₂, 2 - SO₃, 3 - O₂, 4- N₂, 5- CO₂), Па*с

$$\mu_1 := 2.46 \cdot 10^{-5}$$

$$\mu_2 := 2.6 \cdot 10^{-5}$$

$$\mu_3 := 3.31 \cdot 10^{-5}$$

$$\mu_4 := 2.8 \cdot 10^{-5}$$

$$\mu_5 := 2.65 \cdot 10^{-5} \text{ Па*с}$$

Вязкость смеси газов [1,с 143]

$$\mu_{\text{см}} := x_1 \cdot \mu_1 + x_2 \cdot \mu_2 + x_3 \cdot \mu_3 + x_4 \cdot \mu_4 + x_5 \cdot \mu_5 = 2.841 \times 10^{-5} \text{ Па*с}$$

Теплопроводность газов при t_1 (1 - SO₂, 2 - SO₃, 3 - O₂, 4- N₂, 5- CO₂),
 $\frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}}$

$$\lambda_1 := 0.0266$$

$$\lambda_2 := 0.0276$$

$$\lambda_3 := 0.048$$

$$\lambda_4 := 0.0449$$

$$\lambda_5 := 0.0367$$

Теплопроводность смеси газов

$$\lambda_{\text{см}} := x_1 \cdot \lambda_1 + x_2 \cdot \lambda_2 + x_3 \cdot \lambda_3 + x_4 \cdot \lambda_4 + x_5 \cdot \lambda_5 = 0.044 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$$

Определение тепловой нагрузки

$$Q := G1 \cdot c_{\text{см}} \cdot (t_{1\text{н}} - t_{1\text{к}})$$

$$Q = 1.057 \times 10^7 \text{ Вт}$$

$$G1 = 41.217$$

Физические свойства сухого воздуха (см. табл. [7])

t, °C	ρ , кг/м ³	c_p , кДж/(кг·К)	$\lambda \cdot 10^2$, Вт/(м·К)	$\mu \cdot 10^6$, Па·с
0	1,293	1,005	2,44	17,2
10	1,247	1,005	2,51	17,6
20	1,205	1,005	2,59	18,1
30	1,165	1,005	2,67	18,6
40	1,128	1,005	2,76	19,1
50	1,093	1,005	2,83	19,6
60	1,060	1,005	2,90	20,1
70	1,029	1,009	2,96	20,6
80	1,000	1,009	3,05	21,1
90	0,972	1,009	3,13	21,5
100	0,946	1,009	3,21	21,9
120	0,898	1,009	3,34	22,8
140	0,854	1,013	3,49	23,7
160	0,815	1,017	3,64	24,5
180	0,779	1,022	3,78	25,3
200	0,746	1,026	3,93	26,0

**Физико-химические свойства холодного теплоносителя (воздуха)
при средней температуре t_2**

Интерполяцией табличных данных получаем:

$$t_2 := \frac{t_{2H} + t_{2K}}{2} = 166.5 \text{ C}$$

$$t := \begin{pmatrix} 160 \\ 180 \end{pmatrix}$$

плотность, кг/м³

$$\rho_2 := \begin{pmatrix} 0.815 \\ 0.779 \end{pmatrix}$$

$$\rho_2 := \text{Floor}(\text{linterp}(t, \rho_2, t_2), 0.0005)$$

$$\rho_2 = 0.803$$

вязкость, Па·с

$$\mu_2 := \begin{pmatrix} 24.5 \cdot 10^{-6} \\ 25.3 \cdot 10^{-6} \end{pmatrix}$$

$$\mu_2 := \text{Floor}(\text{linterp}(t, \mu_2, t_2), 0.05 \cdot 10^{-6}) \quad \mu_2 = 2.475 \times 10^{-5}$$

теплоемкость, Дж/(кг град)

$$c_2 := \begin{pmatrix} 1017 \\ 1022 \end{pmatrix}$$

$$c_2 := \text{Floor}(\text{linterp}(t, c_2, t_2), 0.05)$$

$$c_2 = 1.019 \times 10^3$$

теплопроводность воздуха, Вт/(м град)

$$\lambda_2 := \begin{pmatrix} 1.017 \cdot 10^{-2} \\ 1.022 \cdot 10^{-2} \end{pmatrix}$$

$$\lambda_2 := \text{Floor}(\text{linterp}(t, \lambda_2, t_2), 0.005 \cdot 10^{-2})$$

$$\lambda_2 = 1.015 \times 10^{-2}$$

4.1.3. Ориентировочный выбор теплообменника

Расчет средней разности температур при противотоке теплоносителей:

$$\Delta t_M := t_{1K} - t_{2H} = 138$$

$$\Delta t_G := t_{1H} - t_{2K} = 99$$

$$\Delta t_{cp} := \frac{\Delta t_G - \Delta t_M}{\ln\left(\frac{\Delta t_G}{\Delta t_M}\right)}$$

$$\Delta t_{cp} = 117.423 \text{ C}$$

Принимаем ориентировочное значение коэффициента теплопередачи, соответствующее турбулентному течению $18 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$

$$K_{op} := 18 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$$

при этом ориентировочное значение поверхности теплообмена составит:

$$F_{op} := \frac{Q}{\Delta t_{cp} \cdot K_{op}}$$

$$F_{op} = 5.002 \times 10^3 \text{ м}^2$$

4.1.4. Уточненный расчет теплообменника

Для обеспечения минимальной площади, занимаемой аппаратом, принимаем теплообменник типа ТНВ (с неподвижными трубными решетками, вертикального исполнения):

Принимаем трубы диаметром $d_H = 51 \times 3,2 \text{ мм}$ и расстояние между трубными решетками $l = 19,6 \text{ м}$

$$d_H := 51 \cdot 10^{-3} \text{ м}$$

$$s_{тр} := 3,2 \cdot 10^{-3} \text{ м}$$

$$l := 19,6 \text{ м}$$

Схема расположения труб в трубных решетках и шаг отверстий для труб регламентируются ГОСТ 9929—82. Для теплообменников типов Н и К трубы

размещают в трубных решетках по вершинам равносторонних треугольников. Шаг размещения определяют по формуле

$$t = (1.2 \div 1.3) \cdot d_H$$

но не менее $(d_H + 6)$ мм

$$t_M := 1.2 \cdot d_H = 0.061$$

$$t_G := 1.3 \cdot d_H = 0.066$$

$$t_{\min} := d_H + 6 = 6.051$$

Принимаем $t := 64$ мм

Рассчитаем ориентировочное число труб для обеспечения $F = 6883 \text{ м}^2$

$$n := \frac{F_{op}}{\pi \cdot (d_H - str) \cdot l}$$

$$n = 1.7 \times 10^3$$

Трубы в трубных решетках размещаются по вершинам равносторонних треугольников. Количество труб в трубных решетках рассчитывается через количество труб на стороне наибольшего шестиугольника.

Примем количество труб на стороне наибольшего шестиугольника

$$a := 25$$

Тогда количество труб в трубных решетках

$$n := 3a \cdot (a - 1) + 1$$

$$n = 1.801 \times 10^3$$

Количество труб на диагонали наибольшего шестиугольника

$$b := 2a - 1 = 49$$

Расстояние от оси кожуха до оси наиболее удаленной трубы

$$a1 := \frac{t \cdot (b - 1)}{2}$$

$$a1 = 1.536 \times 10^3 \text{ мм}$$

Внутренний диаметр корпуса аппарата рассчитывают по формуле [?]

$$D := (b - 1) \cdot t + 4 \cdot d_{\text{н}} = 3.072 \times 10^3$$

Из условия размещения труб в трубной решетке и обеспечения 10 % запаса поверхности теплообмена принимаем параметры теплообменника:

Внутренний диаметр кожуха, м

$$D := 3.2$$

Количество труб, шт

$$n := 1801$$

Длина труб, м

$$l := 19.6$$

Число ходов по трубам

$$z := 1$$

Внешний диаметр труб, м

$$d_{\text{н}} := 0.051$$

Толщина стенки труб, м

$$s := 0.0032$$

$$d_{\text{вн}} := 0.0446$$

Внутренний диаметр труб, м

Реальная поверхность теплообмена, м²

$$F := n \cdot [\pi \cdot (d_{\text{н}} - s) \cdot l] = 5.301 \times 10^3$$

Площадь сечения потока в трубном пространстве, м²

$$S_{\text{тр}} := \frac{\pi}{4} \cdot (n \cdot d_{\text{вн}}^2)$$

$$S_{\text{тр}} = 2.814 \text{ м}^2$$

Уточненный расчет поверхности теплопередачи

Нахождение критерия Рейнольдса и Прандтля для трубного пространства:

$$Re_1 := \frac{4 \cdot G_1}{\pi \cdot d_{BH} \cdot n \cdot \mu_{CM}}$$

$$Re_1 = 2.3 \times 10^4$$

$$Pr_1 := \frac{c_{CM} \cdot \mu_{CM}}{\lambda_{CM}}$$

$$Pr_1 = 0.659$$

Коэффициент теплоотдачи:

$$\alpha_1 := \frac{\lambda_{CM}}{d_{BH}} \cdot 0.023 \cdot Re_1^{0.8} \cdot Pr_1^{0.4}$$

$$\alpha_1 = 58.626 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$$

Нахождение критерия Рейнольдса и Прандтля для межтрубного пространства:

Площадь сечения потока в межтрубном пространстве между перегородками,

$$S_{M.тр} := \frac{\pi}{4} \cdot (D^2 - n \cdot d_H^2) \text{ м}^2$$

$$S_{M.тр} = 4.363 \text{ м}^2$$

Эквивалентный диаметр канала, по которому движется воздух:

$$d_э := \frac{D^2 - n \cdot d_H^2}{D + n \cdot d_H}$$

$$d_э = 0.058 \text{ м}$$

$$Re_2 := \frac{G_2 \cdot d_э}{S_{M.тр} \cdot \mu_2}$$

$$Re_2 = 2.449 \times 10^4$$

$$Pr_2 := \frac{c_2 \cdot \mu_2}{\lambda_2}$$

$$Pr_2 = 2.484$$

Коэффициент теплоотдачи:

$$\alpha_2 := \frac{\lambda^2}{d_H} \cdot 0.24 \cdot Re_2^{0.6} \cdot Pr_2^{0.36} \quad \alpha_2 = 28.495 \quad \text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$$

В соответствии [6] принимаем термические сопротивления загрязнений:

$$\text{- для газа: } r_{3.1} := \frac{1}{2500} \quad \text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$$

$$\text{- для воздуха: } r_{3.2} := \frac{1}{2800} \quad \text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$$

Теплопроводность материала труб [5]:

$$\lambda_{CT} := 46.5 \quad \text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$$

Сумма термических сопротивлений стенки и загрязнений:

$$Sum_3 := \frac{s}{\lambda_{CT}} + r_{3.1} + r_{3.2}$$

$$Sum_3 = 8.26 \times 10^{-4}$$

Уточненный коэффициент теплопередачи составит:

$$K := \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_2} + Sum_3}$$

$$K = 18.876 \quad \text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$$

Требуемая поверхность теплообмена составляет:

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

$$F_T = 4.77 \times 10^3 \quad \text{м}^2$$

При этом запас поверхности теплообмена составит:

$$\Delta := \frac{(F - F_T)}{F_T}$$

$$\Delta = 11.126\%$$

Таким образом, принятая поверхность теплообмена $F = 5.301 \times 10^3 \text{ м}^2$ удовлетворяет требуемому значению с запасом поверхности более 11 %.

4.1.5. Расчет гидравлического сопротивления теплообменника

Площадь поперечного сечения труб:

$$S_{\text{тр}} := \frac{\pi \cdot d_{\text{ВН}}^2 \cdot n}{4} S_{\text{тр}} = 2.814 \text{ м}^2$$

Скорость течения газа в трубах:

$$\omega_{\text{тр}} := \frac{G_2}{S_{\text{тр}} \cdot \rho_{\text{см}}} \omega_{\text{тр}} = 10.84 \text{ м/с}$$

Коэффициент трения [6]:

$$\Delta_{\text{тр}} := 0.2 \cdot 10^{-3} \text{ м} - \text{относительная шероховатость труб};$$

$$\lambda_{\text{тр}} := 0.25 \cdot \left[\log \left[\frac{\Delta_{\text{тр}}}{3.7 \cdot d_{\text{ВН}}} + \left(\frac{6.81}{\text{Re}_1} \right)^{0.9} \right] \right]^{-2}$$

$$\lambda_{\text{тр}} = 0.034$$

Диаметр штуцеров входа и выхода воздуха при оптимальной скорости и малом давлении от 4 до 15 м/с:

$$d_{\text{opt1}} := \sqrt{4 \cdot \frac{G_2}{4 \cdot \pi \cdot \rho_2}} = 4.235$$

$$d_{\text{opt2}} := \sqrt{4 \cdot \frac{G_2}{15 \cdot \pi \cdot \rho_2}} = 2.187$$

Принимаем

$$d_{\text{тр.ш}} := 2.4 \text{ м}$$

Скорость течения газа в штуцерах:

$$\omega_{\text{тр.ш}} := \frac{4 \cdot G_2}{\pi \cdot d_{\text{тр.ш}}^2 \cdot \rho_2}$$

$$\omega_{\text{тр.ш}} = 12.458 \text{ м/с}$$

В трубном пространстве следующие местные сопротивления: вход в камеру, выход из нее, один поворот на 180 град., два входа в трубы и два выхода из них.

В соответствии с [6] гидравлическое сопротивление трубного пространства составляет:

$$\Delta P_{\text{тр}} := \lambda_{\text{тр}} \cdot \frac{1 \cdot z}{d_{\text{вн}}} \cdot \frac{\omega_{\text{тр}}^2 \cdot \rho_{\text{см}}}{2} + [2.5 \cdot (z - 1) + 2 \cdot z] \cdot \frac{\rho_{\text{см}} \cdot \omega_{\text{тр}}^2}{2} + 3 \cdot \frac{\rho_{\text{см}} \cdot \omega_{\text{тр.ш}}^2}{2}$$

$$\Delta P_{\text{тр}} = 1.809 \times 10^3 \text{ Па}$$

Число рядов труб, омываемых потоком в межтрубном пространстве:

$$m := \sqrt{\frac{n}{3}}$$

$$m = 24.502$$

Принимаем

$$m := 32$$

Число сегментных перегородок принимается в соответствии с [6]

$$X := 4$$

Диаметр штуцеров к кожуху:

$$d_{\text{м.тр.ш}} := 2 \text{ м}$$

Диаметр штуцеров входа и выхода сернистого газа при оптимальной скорости от 4 до 15 м/с:

$$d_{\text{opt1}} := \sqrt{4 \cdot \frac{G1}{\pi \cdot \rho_{\text{см}}}} = 2.974$$

$$d_{\text{opt2}} := \sqrt{4 \cdot \frac{G1}{15 \cdot \pi \cdot \rho_{\text{см}}}} = 1.536$$

Принимаем $d_{\text{тр.ш}} := 2.4 \text{ м}$

Тогда скорость потока в штуцерах:

$$\omega_{\text{м.тр.ш}} := \frac{4 \cdot G1}{\pi \cdot d_{\text{м.тр.ш}}^2 \cdot \rho_{\text{см}}} = 8.842 \text{ м/с}$$

Скорость воздуха в наиболее узком сечении межтрубного пространства площадью $S_{\text{м.тр}}$ составляет:

$$\omega_{\text{м.тр}} := \frac{G1}{S_{\text{м.тр}} \cdot \rho_2} \omega_{\text{м.тр}} = 11.764 \text{ м/с}$$

В межтрубном пространстве следующие местные сопротивления: вход и выход жидкости через штуцера, 4 поворотов через сегментные перегородки (по их числу X) и 5 сопротивлений трубного пучка при его поперечном обтекании ($X+1$).

В соответствии с [6] сопротивление межтрубного пространства составляет:

$$\Delta P_{\text{м.тр}} := \frac{3 \cdot m \cdot (X + 1)}{\text{Re}_2^{0.2}} \cdot \frac{\omega_{\text{м.тр}}^2 \cdot \rho_2}{2} + 1.5 \cdot X \cdot \frac{\rho_2 \cdot \omega_{\text{м.тр}}^2}{2} + 3 \cdot \frac{\rho_2 \cdot \omega_{\text{м.тр.ш}}^2}{2}$$

$$\Delta P_{\text{м.тр}} = 3.961 \times 10^3 \text{ Па}$$

Вывод: в соответствии с требуемой площадью поверхности теплообмена определены основные размеры теплообменного аппарата типа ТНВ (вертикального исполнения, с неподвижными трубными решетками), поверхность теплообмена - 5301 м², диаметр аппарата - 3200 мм, количество труб - 1801 шт. при размещении их по вершинам равносторонних треугольников и по сторонам правильных шестиугольников (количество труб на стороне наибольшего шестиугольника, $a = 32$), длина труб - 19.6 м, число ходов по трубам - 1. Гидравлическое сопротивление трубного пространства составляет 1809 Па, межтрубного - 3961 Па.

4.2. Механический расчет теплообменника

Механический расчет элементов теплообменника проводим по ГОСТ 14249-89 [9]

Исходные данные

Материал обечайки

сталь 09Г2С

Расчетная температура среды

$T := 150\text{C}$

Расчетное внутреннее избыточное давление

$P := 0.6\text{МПа}$

Допускаемое напряжение при $T=150\text{C}$

$\sigma_d := 154\text{МПа}$

Внутренний диаметр обечайки

$D := 3200\text{ мм}$

Коэффициент прочности продольного шва $\phi_r := 0.9$

Коэффициент к допускаемым напряжениям $\eta := 1$

Коэффициент запаса прочности по пределу текучести для условий гидравлических испытаний ГОСТ14249-89

$n_T := 1.1$

Прибавка для компенсации коррозии

$c_1 := 1\text{мм}$

Прибавка для компенсации минусового допуска

$c_2 := 1.0\text{мм}$

прибавка на технологические утонение

$c_3 := 0\text{мм}$

Минимальное значение предела текучести при 20 С ГОСТ 14249-89

$R_{p02} := 280\text{МПа}$

Исполнительная толщина стенки обечайки $S := 18\text{мм}$

4.2.1. Расчет на прочность цилиндрической обечайки [9]

Расчетная толщина стенки обечайки

$$S_p := \frac{P \cdot D}{2 \cdot \sigma_d \cdot \phi_p - P}$$

$$S_p = 6.941 \text{ мм}$$

Сумма прибавок к расчетной толщине стенки обечайки

$$c := c_1 + c_2 + c_3 \quad c = 2 \text{ мм}$$

Исполнительная толщина стенки обечайки

$$S > S_p + c \quad \underline{S} := (S_p + c) = 8.941 \text{ Принимаем } \underline{S} := 18 \text{ мм}$$

Условия применения расчетных формул выполняется:

$$\left(\frac{S - c}{D} \leq 0 \right) \leq 0.1 \quad \frac{S - c}{D} = 5 \times 10^{-3}$$

Допускаемое внутреннее избыточное давление для рабочих условий

$$P_d := \frac{2 \cdot \sigma_d \cdot \phi_p \cdot (S - c)}{D + (S - c)} \quad P_d = 1.379 \text{ МПа}$$

Допускаемое напряжение для условий испытаний

$$\sigma_{ди} := \eta \cdot \frac{R_{p02}}{n_T} \quad \sigma_{ди} = 254.545 \text{ МПа}$$

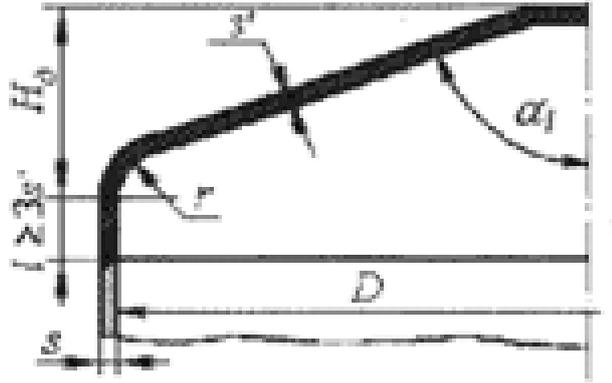
Допускаемое избыточное давление для условий испытаний

$$P_{ди} := \frac{\sigma_{ди} \cdot 2 \cdot \phi_p \cdot (S - c)}{D + (S - c)} \quad P_{ди} = 2.28 \text{ МПа}$$

4.2.2. Расчет на прочность конического днища ГОСТ Р 52857.2—2007

Расчет проводится согласно ГОСТ Р 52857.2-2007 [3]

Расчетная схема конического днища



Исходные данные

Материал днища сталь 09Г2С

Расчетная температура среды $T_r := 150\text{C}$

Расчетное внутренне избыточное давление $P = 0.6\text{ МПа}$

Допускаемое напряжение при $T=150\text{ C}$ $\sigma_d = 154\text{ МПа}$

внутренний диаметр днища $D_d := 3200\text{ мм}$

$$\alpha_2 \leq 120$$

$$\alpha := 45$$

Коэффициент прочности продольного шва $\phi_r = 0.9$

Коэффициент к допускаемым напряжениям $\eta = 1$

Коэффициент запаса прочности по пределу текучести для условий гидравлических испытаний ГОСТ14249-89

$$n_T = 1.1$$

Прибавка для компенсации коррозии $c_1 = 1\text{ мм}$

Прибавка для компенсации минусового допуска $c_2 := 1.0\text{ мм}$

Прибавка на технологические утонение $c_3 := 1.0\text{ мм}$

Минимальное значение предела текучести при 20 C ГОСТ 14249-89

$$R_{p02} := 280\text{ МПа}$$

Расчет

$$D_k := D$$

Сумма прибавок стенки днища

$$c := c1 + c2 + c3$$

$$c = 3 \text{ мм}$$

Толщина стенки гладкой конической обечайки из условия прочности

$$s_{к1} := \text{Ceil} \left[\frac{P \cdot D_{к}}{(2 \cdot \varphi_{р} \cdot \sigma_{д} - P) \cdot \cos(\alpha)} + c, 1 \right]$$

$$s_{к1} = 16$$

Исполнительная толщина стенки днища

$$s_{к1} = 16$$

$$S_{д} > s_{к1} + c$$

$$s_{к1} + c = 19$$

Принимаем $S_{д} := 20 \text{ мм}$

Условие применения расчетных формул выполняется:

$$0.002 \leq \frac{s_{к1} - c}{D_{д}} \leq 0.1$$

$$\frac{s_{к1} - c}{D_{д}} = 4.063 \times 10^{-3}$$

Допускаемое внутреннее избыточное давление

рабочие условия

$$P_{дж} := \frac{[2 \cdot \varphi_{р} \cdot \sigma_{д} \cdot (s_{к1} - c)]}{(s_{к1} - c) + \frac{D}{\cos(\alpha)}}$$

$$P_{дж} = 0.59 \text{ МПа}$$

Условия испытаний

$$P_{джи} := \frac{[2 \cdot \varphi_{р} \cdot \sigma_{ди} \cdot (s_{к1} - c)]}{(s_{к1} - c) + \frac{D}{\cos(\alpha)}}$$

$$P_{\text{дки}} = 0.976 \text{ МПа}$$

4.2.3. Расчет на прочность конической крышки

Расчет проводится согласно ГОСТ 52857.2-2007 [3]

Конструкция конических крышек (Рис.?)

Сумма прибавок стенки крышки

$$c = 3 \text{ мм}$$

Толщина стенки гладкой конической обечайки из условия прочности

$$s_{\text{к1}} := \text{Ceil} \left[\frac{P \cdot D_{\text{к}}}{(2 \cdot \varphi \cdot \sigma_{\text{д}} - P) \cdot \cos(\alpha)} + c, 1 \right]$$

$$s_{\text{к1}} = 16$$

Исполнительная толщина стенки крышки

$$s_{\text{к1}} = 16 \quad s_{\text{к1}} + c = 19 \quad \underline{s_{\text{д}}} := 30 \text{ мм}$$

Условие применения расчетных формул выполняется:

$$0.002 \leq \frac{s_{\text{к1}} - c}{D_{\text{д}}} \leq 0.1$$

$$\frac{s_{\text{к1}} - c}{D_{\text{д}}} = 4.063 \times 10^{-3}$$

Допускаемое внутреннее избыточное давление

$$P_{\text{дж}} := \frac{[2 \cdot \varphi \cdot \sigma_{\text{д}} \cdot (s_{\text{к1}} - c)]}{(s_{\text{к1}} - c) + \frac{D}{\cos(\alpha)}}$$

$$P_{\text{дж}} = 0.59 \text{ МПа}$$

Условия испытаний

$$P_{\text{дки}} := \frac{[2 \cdot \varphi \cdot \sigma_{\text{ди}} \cdot (s_{\text{к1}} - c)]}{(s_{\text{к1}} - c) + \frac{D}{\cos(\alpha)}}$$

$$P_{\text{дки}} = 0.976 \text{ МПа}$$

4.2.4. Расчеты на прочность укрепления отверстий

Расчет проводится по ГОСТ 52857.3. -2007 [4]

Расчет укрепления отверстий в обечайке для патрубков $D_y=350\text{мм}$

Исходные данные

Материал обечайки Сталь 09Г2С

Сумма прибавок к расчетной толщине стенки обечайки

$$c := 2.0\text{мм}$$

Сумма прибавок к расчетной толщине стенки штуцера

$$cS := 2.0\text{мм}$$

Внутренний диаметр цилиндрической обечайки

$$D := 3200\text{ мм}$$

Расчетный внутренний диаметр цилиндрической обечайки

$$D_p := 3200\text{ мм}$$

Внутренний диаметр штуцера

$$d := 350\text{мм}$$

Расчетный внутренний диаметр штуцера

$$d_p = d + 2cS$$

$$d_p := 356\text{мм}$$

Исполнительная толщина стенки обечайки

$$S := 18\text{ мм}$$

расчетная толщина стенки обечайки

$$S_p := 10\text{ мм}$$

Условия применяя формул для расчета укрепления отверстий:

$$\left(\frac{d_p - 2 \cdot cS}{D} \right) \leq 1 \quad \frac{d_p - 2 \cdot cS}{D} = 0.11$$

$$\frac{S - c}{D} \leq 1 \quad \frac{S - c}{D} = 5 \times 10^{-3}$$

Условия выполняются

Расчетная ширина зоны укрепления:

$$L_0 := \sqrt{D_p \cdot (S - c)}$$

$$L_0 = 226.274 \text{ мм}$$

Наибольший расчетный диаметр отверстия, не требующего укрепления, при наличии избыточной толщины стенки:

$$d_0 := 2 \cdot \left[\frac{(S - c)}{S_p} - 0.8 \right] \cdot \sqrt{D_p \cdot (S - c)}$$

$$d_0 = 362.039 \text{ мм}$$

$$d_p < (d_0)$$

Так как $362.039 > 356$, то укрепление отверстия не требуется. мм4

4.2.5. Расчет фланцевого соединения

Расчет проводим по ГОСТ Р 52857.4-2007 [5].

Исходные данные

Внутренний диаметр аппарата

$$D := 3200 \text{ мм}$$

Толщина обечайки

$$s := 18 \text{ мм}$$

Внутреннее давление

$$P := 0.6 \text{ МПа}$$

Рабочая температура

$$t := 150 \text{ С}$$

Материал фланца сталь 09Г2С

Материал болтов сталь 35Х

Коэффициент прочности сварных швов

$$\phi := 1$$

Сумма прибавок $c := 2 \text{ мм}$

Определение расчетных параметров

Расчетная температура фланца

$$t_{\phi} := 0.96 \cdot t \quad t_{\phi} = 144 \text{ C}$$

расчетная температура болтов

$$t_b := 0.95 \cdot t \quad t_b = 142.5$$

Допускаемое напряжение для болтов 8 с 158]

$$\sigma_b := 230 \text{ МПа}$$

Допускаемое напряжения для фланцев из стали 09Г2С

$$\sigma_{\Gamma} := 231 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{d1} := \sigma_{\Gamma}$$

соединение втулки с обечайкой

$$E := 1.76 \cdot 10^5$$

модуль упругости для стали 09Г2С

$$\sigma_{d0} := \frac{0.003 \cdot E}{1.5}$$

$$\sigma_{d0} = 352 \text{ МПа}$$

Конструктивные размеры фланцевого соединения

толщина втулки S0 принимаем:

$$s < s_0 < 1.35 \cdot s$$

$$18 < 23 < 24.3$$

$$s_0 := 23 \text{ мм}$$

толщина S1 втулки по формуле:

$$\beta_1 := 2.5$$

$$S_1 := \beta_1 \cdot s_0$$

$$S_1 = 57.5 \text{ мм}$$

Высота втулки по формуле:

$$l \geq 3 \cdot (S_1 - s_0)$$

$$3 \cdot (S_1 - s_0) = 103.5$$

принимаем

$$l := 120 \text{ мм}$$

Диаметр болтовой окружности

$$d_b := 30 \text{ мм}$$

при $P=0,6$ и $D=3200$

$$D_b \geq D + 2 \cdot (S_1 + d_b + 0.006)$$

$$D + 2 \cdot (S_1 + d_b + 0.006) = 3.375 \times 10^3$$

Принимаем

$$D_b := 3380 \text{ мм}$$

Наружный диаметр фланца

$$a := 58 \text{ мм}$$

для шестигранных гаек при

$$d_b := 30$$

$$D_n \geq D_b + a$$

$$D_b + a = 3.438 \times 10^3$$

принимаем

$$D_n := 3450 \text{ мм}$$

Наружный диаметр прокладки

$$e := 41$$

мм для плоских прокладок при $d_b=30$ мм

$$D_{np} := D_b - e$$

$$D_{np} = 3.339 \times 10^3$$

Средний диаметр прокладки

$$b_n := 25$$

мм ширина плоской неметаллической прокладки при $D=3200$ мм

[8 с 159]

$$D_{сп} := D_{np} - b_n$$

$$D_{сп} = 3.314 \times 10^3 \text{ мм}$$

шаг расположение болтов

$$t_{ш} := 3.8 \cdot d_{б}$$

$$t_{ш} = 114$$

Ориентировочное количество болтов

$$Z_{б} \geq \frac{(\pi \cdot D_{б})}{t_{ш}}$$

$$\frac{(\pi \cdot D_{б})}{t_{ш}} = 93.145$$

Принимаем

$$Z_{б} := 94$$

Эквивалентная толщина втулки фланца

$$S_e := s_0 \cdot \left[1 + \frac{1 \cdot (\beta_1 - 1)}{1 + 0.25 \cdot (\beta_1 + 1) \cdot \sqrt{D \cdot s_0}} \right]$$

$$S_e = 34.584 \text{ мм}$$

Высота фланца

$$\lambda := 0.0018 \cdot P^3 - 0.0262 \cdot P^2 + 0.1357 \cdot P + 0.1985$$

$$\lambda = 0.271$$

$$h_{ф} \geq \lambda \cdot \sqrt{D \cdot S_e}$$

$$\lambda \cdot \sqrt{D \cdot S_e} = 90.113$$

Принимаем

$$h_{ф} := 100 \text{ мм}$$

Вспомогательные величины

$$\psi_1 := 1.28 \cdot \log\left(\frac{D_H}{D}\right)$$

$$\psi_1 = 0.042$$

$$j := \frac{h_{ф}}{S_e}$$

$$j = 2.891$$

$$\omega := \left[1 + 0.9 \cdot \lambda \cdot (1 + \psi_1 \cdot j^2) \right]^{-1}$$

$$\omega = 0.752$$

Безразмерные параметры T и ψ_2

$$K := \frac{D_H}{D} = 1.078$$

$$T := \frac{K^2 \cdot (1 + 8.55 \cdot \log(K)) - 1}{(1.05 + 1.945 \cdot K^2) \cdot (K - 1)}$$

$$\psi_2 := \frac{K + 1}{K - 1}$$

$$T = 1.883$$

$$\psi_2 = 26.6$$

Угловая податливость фланца

$$Уф := \frac{[1 - \omega \cdot (1 + 0.9 \cdot \lambda)] \cdot \psi_2}{h\phi^3 \cdot E}$$

$$Уф = 9.693 \times 10^{-12} \frac{М}{МН}$$

Линейная податливость фланца

$$E_{II} := 2000 \text{ МПа}$$

для прокладки из паронита

$$S_{II} := 2 \cdot 10^{-3}$$

$$У_{II} := \frac{S_{II}}{\pi \cdot D_{сп} \cdot b_{II} \cdot E_{II}}$$

$$У_{II} = 3.842 \times 10^{-12} \frac{М}{МН}$$

Расчетная длина шпильки с двумя гайками

$$h_{II} := 2 \text{ мм}$$

высота стандартной прокладки

$$l_{60} := 2 \cdot (h_{\phi} + h_{\Pi})$$

$$l_6 := l_{60} + 0.56d_6$$

$$l_6 := 0.22 \text{ мм}$$

Линейная податливость шпилек

$$f_6 := 23 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$$

$$E_6 := 1.9 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

Модуль упругости для болтов

$$Y_6 := \frac{l_6}{Z_6 \cdot f_6 \cdot E_6}$$

$$Y_6 = 5.356 \times 10^{-6} \frac{\text{М}}{\text{МН}}$$

Коэффициент жесткости фланцевого соединения при стыковке фланцев

$$A := \left[Y_{\Pi} + Y_6 + 0.5 Y_{\phi} \cdot (D_6 - D_{\text{сп}})^2 \right]^{-1}$$

$$A = 1.86 \times 10^5$$

$$B := Y_{\phi} \cdot (D_6 - D - S_e)$$

$$B = 1.409 \times 10^{-9}$$

$$\alpha := A \cdot [Y_6 + 0.5 \cdot B \cdot (D_6 - D_{\text{сп}})]$$

$$\alpha = 1.005$$

Безразмерный коэффициент для приварных фланцев

$$\gamma := A \cdot Y_6$$

$$\gamma = 0.996$$

Расчет усилий во фланцевом соединении

Сила, действующая на фланцевое соединение от внутреннего давления

$$Q_d := 0.785 \cdot D_{\text{сп}}^2 \cdot P$$

$$Q_d := 5.17 \text{ МН}$$

Реакция прокладки в рабочих условиях

$$b_e := 0.06 \cdot \sqrt{b_{\pi}}$$

$$b_e := 0.003 \text{ м}$$

$$m := 2.5$$

для паронита

$$R_{\pi} := 2 \cdot \pi \cdot D_{\text{сп}} \cdot b_e \cdot m \cdot P$$

$$R_{\pi} := 0.093 \text{ МН}$$

Усилие возникающих от температурных деформаций

Коэффициент линейного расширения для болтов и фланцев

$$\alpha_b := 13.3 \cdot 10^{-6} \quad \alpha_f := 16.6 \cdot 10^{-6}$$

$$Q_t := \gamma \cdot Z_b \cdot f_b \cdot E_b \cdot (\alpha_f \cdot t_f - \alpha_b \cdot t_b)$$

$$Q_t := 0.204$$

Болтовая нагрузка в условиях монтажа при

$$(P \geq 0.6) \text{ МПа}$$

$$q := 20 \text{ МПа}$$

$$P_{b1} := \max(\alpha \cdot Q_d + R_{\pi, \pi} \cdot D_{\text{сп}} \cdot b_e \cdot q)$$

$$P_{b1} := 5.287 \text{ МН}$$

Болтовая нагрузка в рабочих условиях

$$P_{b2} := P_{b1} + (1 - \alpha) \cdot Q_d + Q_t$$

$$P_{b2} = 5.467 \text{ МН}$$

Приведенные изгибающие моменты в диаметральном сечении

$$M_{01} := 0.5 \cdot P_{b1} \cdot (D_b - D_{\text{сп}})$$

$$M_{01} := 0.17 \text{ МН} \cdot \text{м}$$

$$M_{02} := 0.5 \cdot [P_{b2} \cdot (D_b - D_{\text{сп}})] + Q_d \cdot (D_{\text{сп}} - D - S_e) = 590.976$$

$$\sigma_{20} := 280 \text{ МПа}$$

$$\frac{\sigma_{20}}{\sigma_T} = 1.212$$

$$M_{02} := 0.716 \text{ МН} \cdot \text{м}$$

Расчетное значения момента

$$M_0 := \max(M_{01}, M_{02})$$

$$M_0 := 0.716 \text{ МН} \cdot \text{м}$$

Проверка прочности и герметичности фланцевого соединение

Условие прочности шпилек

в условиях монтажа

$$\frac{P_{61}}{Z_b \cdot f_b} \leq \sigma_{b20}$$

$$\frac{P_{61}}{Z_b \cdot f_b} = 24.454$$

$$\sigma_{b20} := 230 \text{ МПа}$$

Допускаемое напряжения для болтов

в рабочих условиях

$$\frac{P_{62}}{Z_b \cdot f_b} \leq \sigma_T$$

$$\frac{P_{62}}{Z_b \cdot f_b} = 25.285$$

МПа

$$\sigma_T = 231 \text{ МПа}$$

В обоих случаях условие прочности шпилек выполняется

$$\frac{P_{61}}{\pi \cdot D_{сп} \cdot 10^{-3} \cdot b_{п} \cdot 10^{-3}} \leq q_d$$

$$q_d := 130 \text{ МПа}$$

$$\frac{P_{61}}{\pi \cdot D_{сп} \cdot 10^{-3} \cdot b_{п} \cdot 10^{-3}} = 20.313$$

условие прочности прокладки выполняется

Максимальное напряжение в сечении S1 фланца

$$\sigma_1 := \frac{T \cdot M_0 \cdot \omega}{D \cdot 10^{-3} \cdot (S_1 \cdot 10^{-3} - c \cdot 10^{-3})^2}$$

$$\sigma_1 = 102.914 \text{ МПа}$$

Максимальное напряжение в сечении S0

$$\psi_3 := 2.5$$

при

$$\beta_1 = 2.5$$

[8 с 102]

$$\sigma_0 := \psi_3 \cdot \sigma_1$$

$$\sigma_0 = 257.285 \text{ МПа}$$

Напряжение в кольце от момента M0

$$\sigma_K := \frac{M_0 \cdot [1 - \omega \cdot (1 + 0.9\lambda)] \cdot \psi_2}{D \cdot 10^{-3} \cdot (h\phi \cdot 10^{-3})^2}$$

$$\sigma_K = 38.17 \text{ МПа}$$

Напряжение во втулке фланца от внутреннего давления

$$\sigma_x := \frac{P \cdot D \cdot 10^{-3}}{2 \cdot (s_0 - c) \cdot 10^{-3}}$$

$$\sigma_x = 45.714 \text{ МПа}$$

$$\sigma_y := \frac{P \cdot D \cdot 10^{-3}}{4 \cdot (s_0 - c) \cdot 10^{-3}}$$

$$\sigma_y = 22.857 \text{ МПа}$$

Условия прочности фланца в сечении S1

$$\sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_K^2 + \sigma_1 \cdot \sigma_K} \leq \sigma_{Д1}$$

$$\sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_K^2 + \sigma_1 \cdot \sigma_K} = 126.398 \text{ МПа}$$

$\sigma_{d1} = 231$ МПа допускаемое напряжение равно пределу текучести стали 09Г2С

условия выполняется

Условия прочности фланца в сечении S0

$$\sqrt{(\sigma_0 \cdot \sigma_y)^2 + \sigma_x^2} - (\sigma_0 + \sigma_y) \cdot \sigma_x \leq \phi \cdot \sigma_{d0}$$

$$\sqrt{(\sigma_0 + \sigma_y)^2 + \sigma_x^2} - (\sigma_0 + \sigma_y) \cdot \sigma_x = 260.313 \text{ МПа}$$

$$\phi \cdot \sigma_{d0} = 352 \text{ МПа}$$

условие выполняется

Условие герметичности по углу поворота фланца

$$E_f := 1.86 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

модуль упругости для материала фланца

$$\theta := \frac{\sigma_k \cdot D \cdot 10^{-3}}{E_f \cdot h_f \cdot 10^{-3}} \quad \theta \leq \theta_d \quad \theta_d := 0.013$$

при

$$D > 2000 \text{ мм}$$

$$\theta = 6.567 \times 10^{-3}$$

Условие выполняется

4.3. Поверочный механический расчет теплообменника

Поверочный механический расчет теплообменника выполним по ГОСТ Р 52857.7-2007 [10]

В настоящем стандарте рассмотрены следующие конструкции кожухотрубчатых теплообменных аппаратов: с неподвижными трубными решетками, компенсатором на кожухе, аппараты с плавающей головкой, U-образными трубами, а также аппараты воздушного охлаждения с камерами разъемной и неразъемной конструкции.

Стандарт позволяет определять допускаемые нагрузки при поверочном расчете и исполнительные размеры элементов аппаратов при проектировании.

Обозначения

A	— коэффициент для определения максимального изгибающего момента в перфорированной части трубной решетки;
A_B	— суммарная площадь сечения болтов (шпилек) по внутреннему диаметру резьбы или нагруженному сечению наименьшего диаметра, мм ² ;
$A_{\text{ком}}$	— коэффициент формы компенсатора;
A_{p1}, A_{p2}	— вспомогательные коэффициенты, используемые при расчете теплообменных аппаратов с расширителем на кожухе;
A_y	— коэффициент для определения максимального прогиба трубы, мм;
a	— внутренний радиус кожуха, мм;
$a_{\text{п}}$	— расстояние от оси пучка до оси наиболее удаленной трубы, мм;
a_1	— расстояние от оси кожуха до оси наиболее удаленной трубы, мм;
B	в перфорированной части трубной решетки;
$B_{\text{п}}$	— ширина канавки под прокладку в многоходовом аппарате, мм;
$B_{\text{пер}}$	— ширина перегородки в трубном пространстве, мм;
B_{p1}, B_{p2}	— вспомогательные коэффициенты, используемые при расчете теплообменных аппаратов с расширителем на кожухе;

B_0	— внутренний размер камеры аппарата воздушного охлаждения в поперечном направлении, мм;
B_1	— ширина зоны решетки камеры аппарата воздушного охлаждения, в пределах которой толщина решетки равна s_1 , мм;
$B.2$	— наружный размер прокладки в поперечном направлении для камеры аппарата воздушного охлаждения по рисункам 15—18, мм;
B_3	— расстояние между осями болтов (шпилек) в поперечном направлении для камеры аппарата воздушного охлаждения по рисункам 15 —18, мм;
$B.4$	— наружный размер в поперечном направлении для камеры аппарата воздушного охлаждения по рисункам 15—18, мм;
$B.p$	— расчетный поперечный размер решетки камеры аппарата воздушного охлаждения, мм;
$B.T$	— расчетная ширина перфорированной зоны решетки камеры аппарата воздушного охлаждения, мм;
$b.i$	— ширина промежуточных пролетов камер (см. рисунки 23, 24), мм;
$bп$	— ширина плоской прокладки, мм;
$b.0$	— эффективная ширина прокладки, мм;
$b.1$	— ширина тарелки фланца кожуха, мм;
$b.2$	— ширина тарелки фланца камеры, мм;
$C.f$	— параметр компенсатора;
c	— расчетная прибавка к толщине трубной решетки, крышке плавающей головки, элементам аппаратов воздушного охлаждения, мм. При назначении величины «с» для трубной решетки и крышки плаваю-
$c.к$	щей головки следует учитывать коррозию как со стороны трубного, так и межтрубного пространства;
$c.п$	— расчетная прибавка к толщине стенки кожуха, мм;
$c.p$	— расчетная прибавка к толщине перегородки теплообменного аппарата или аппарата воздушного охлаждения, мм. При назначении величины «сп» следует учитывать, что перегородка подвергается дву- сторонней коррозии

	— глубина канавки под прокладку под пробку в задней стенке неразъемной камеры, мм;
D	— внутренний диаметр кожуха или плавающей головки, мм;
D.в	— наименьший диаметр утоненной части решетки, мм;
D.E	— диаметр окружности, вписанной в максимальную беструбную площадь, мм;
D.ком	— наружный диаметр компенсатора, мм;
Dн	— наружный диаметр фланца, мм;
Dр	— диаметр сечения полукольца плавающей головки, имеющего наименьшую толщину, мм;
Dсп	— средний диаметр прокладки, мм;
D1	— внутренний диаметр расширителя, мм;
de	— эффективный диаметр отверстия в трубной решетке или задней стенке, мм;
dком	— внутренний диаметр компенсатора, мм;
dpi	— размер отверстий в i-й перегородке, мм;
dпр	— диаметр резьбы пробок в задних стенках камер аппаратов воздушного охлаждения, мм;
dт	— наружный диаметр трубы, мм;
d0	— диаметр отверстия в решетке, мм;
E	— модуль продольной упругости материала крышки камеры аппарата воздушного охлаждения, МПа;
Eр	— модуль продольной упругости материала решетки, МПа;
Eр1	— модуль продольной упругости материала 1-й решетки, если модули упругости двух трубных решеток отличаются друг от друга, МПа;
Eр2	— модуль продольной упругости материала 2-й решетки, если модули упругости двух трубных решеток отличаются друг от друга, МПа;
Ed	— модуль продольной упругости материала камеры, МПа;
Ek	— модуль продольной упругости материала кожуха, МПа;

Еком	— модуль продольной упругости материала компенсатора, МПа;
Еп	— модуль продольной упругости материала прокладки, МПа;
Ет	— модуль продольной упругости материала труб, МПа;
Е1	— модуль продольной упругости материала фланца кожуха, МПа;
Е2	— модуль продольной упругости материала фланца камеры, МПа;
F	— суммарная осевая сила, действующая на кожух, Н;
Fп	— усилие на прокладке плавающей головки, Н;
Fв	— усилие в болтах (шпильках) камеры аппарата воздушного охлаждения в условиях эксплуатации, Н;
F0	— усилие в болтах (шпильках) камеры аппарата воздушного охлаждения в условиях испытания или монтажа, Н;
F1	— усилие от болтовой нагрузки на единицу длины решетки или крышки камеры аппарата воздушного охлаждения, Н/мм;
f0	— коэффициент, зависящий от соотношения сторон перегородки по трубному пространству;
f1	— коэффициент, зависящий от соотношения сторон перфорированной зоны решетки аппарата воздушного охлаждения;
f2	— коэффициент, зависящий от соотношения сторон крышки аппарата воздушного охлаждения;
f3	— коэффициент, зависящий от соотношения сторон крышки аппарата воздушного охлаждения;
f4	— коэффициент, зависящий от соотношения сторон задней стенки камеры аппарата воздушного охлаждения;
H	— коэффициент, зависящий от соотношения сторон боковой стенки камеры аппарата воздушного охлаждения;
h	— глубина крышки камеры аппарата воздушного охлаждения (см. рисунки 15—18), мм;
h1	— выступающая часть отбортовки эллиптического днища плавающей головки, мм;

hп	— толщина прокладки, мм;
h1	— толщина тарелки фланца кожуха, мм;
h2	— толщина тарелки фланца камеры, мм;
i	— число труб;
Кком	— жесткость компенсатора, Н/мм;
Кq	— коэффициент изменения жесткости системы трубы — кожух при действии осевой силы;
Кq1	— отношение осевого перемещения компенсатора или расширителя при действии растягивающей силы к осевому перемещению краев корпуса межтрубного пространства без компенсатора и расширителя от действия той же силы;
Кр	— коэффициент изменения жесткости системы трубы — кожух при действии давления;
Кр1	— отношение осевого перемещения компенсатора или расширителя при действии давления к осевому перемещению краев корпуса межтрубного пространства без компенсатора и расширителя от действия того же давления;
Крас	— жесткость расширителя, Н/мм;
Ку	— модуль упругости основания (системы труб), Н/мм ³ ;
Кд	— эффективный коэффициент концентрации напряжения;
Кф	— коэффициент жесткости фланцевого соединения при изгибе, Н * мм;
Кф	— коэффициент жесткости фланца кожуха при изгибе, Н * мм;
Кф1	— коэффициент жесткости фланца камеры при изгибе, Н * мм;
Кф2	— коэффициент жесткости втулки фланца кожуха при изгибе, Н * мм;
К1	— коэффициент жесткости втулки фланца камеры при изгибе, Н * мм;
К2	— коэффициент условий работы при расчете труб на устойчивость;
Лрас	— длина расширителя, мм;

Lp	— расчетный размер решетки аппарата воздушного охлаждения в продольном направлении, мм;
Lпер	— длина перегородки в трубном пространстве, мм;
L0	— внутренний размер камеры аппарата воздушного охлаждения в продольном направлении, мм;
L2	— наружный размер прокладки в продольном направлении для камеры аппарата воздушного охлаждения по рисункам 15—18, мм;
l	— половина длины трубы теплообменного аппарата или аппарата воздушного охлаждения, мм;
Lпр	— приведенная длина трубы, используемая при расчете прогиба труб и изгибающего момента, действующего на трубу, мм;
lv	— глубина развальцовки труб, мм;
lp	— расстояние от решетки до перегородки, мм;
lpi	— расстояние между отверстиями в i-й перегородке, мм;
lR	— расчетная длина труб при продольном изгибе, мм;
l1	— плечо изгибающего момента, действующего на решетку аппарата воздушного охлаждения, мм;
l2	— плечо изгибающего момента, действующего на фланец крышки аппарата воздушного охлаждения, мм;
L1R	— максимальный пролет трубы между решеткой и перегородкой, мм;
L2R	— максимальный пролет трубы между перегородками, мм;
Mmax	— максимальный изгибающий момент в перфорированной части трубной решетки, Н * мм/мм;
M	— расчетный изгибающий момент, действующий на крышку плавающей головки, Н * мм;
Ma	— изгибающий момент, распределенный по периметру перфорированной части трубной решетки, Н * мм/мм;
Mк	— изгибающий момент, распределенный по периметру кожуха, Н * мм/мм;

Мп	— изгибающий момент, распределенный по периметру трубной решетки, Н * мм/мм;
Мт	— изгибающий момент, действующий на трубу, Н * мм;
Мд	— допускаемый изгибающий момент для фланца крышки плавающей головки, Н * мм;
Мдкр	— допускаемый изгибающий момент для днища крышки плавающей головки, Н * мм;
m	— прокладочный коэффициент;
mА	— коэффициент для определения максимального изгибающего момента в перфорированной части трубной решетки;
mср	— коэффициент влияния давления на продольную деформацию труб;
mπ	— относительная характеристика беструбного края трубной решетки;
m1	— коэффициент влияния давления на изгиб 1-го фланца, мм ² ;
m2	— коэффициент влияния давления на изгиб 2-го фланца, мм ² ;
JТ	— момент инерции поперечного сечения трубы, мм ⁴ ;
N	— количество циклов нагружения за расчетный срок службы (если количество циклов не оговорено, рекомендуется принимать N = 2000);
NT	— осевая сила, действующая на трубу, Н;
Ndmr	— допускаемая нагрузка на соединение трубы с решеткой способом развальцовки, Н;
пcom	— число линз (волн) компенсатора;
пв	— коэффициент для определения максимального изгибающего момента в перфорированной части трубной решетки;
P	— расчетное давление в камере аппарата воздушного охлаждения, МПа;
Pпр	— пробное давление при испытании в камере аппарата воздушного охлаждения, МПа;
Pм	— расчетное давление в межтрубном пространстве, МПа;
Pт	— расчетное давление в трубном пространстве, МПа;

P_p	— расчетное давление, действующее на решетку кожухотрубчатого теплообменного аппарата, МПа.
P_0	Принимается равным максимально возможному перепаду давлений, действующих на решетку;
P_1	— приведенное давление на фланцы, МПа;
$P_{1д}$	— допускаемое избыточное давление из условий прочности краевой зоны сферического не отбортованного днища, МПа;
P_b	— усилие в шпильках плавающей головки, Н;
$P_{бм}$	— усилие в шпильках плавающей головки в условиях монтажа, Н;
Q_a	— усилие в шпильках плавающей головки в рабочих условиях, Н;
Q_d	— перерезывающая сила, распределенная по периметру перфорированной зоны решетки, Н/мм;
Q_k	— равнодействующая давления, действующего на крышку плавающей головки, Н;
Q_p	— усилие, распределенное по периметру кожуха, Н/мм;
q_d	— перерезывающая сила, распределенная по краю трубной решетки, Н/мм;
q_{ds}	— допускаемая нагрузка на единицу площади сечения трубного пучка из условия прочности труб, МПа;
q	— допускаемая нагрузка на единицу площади сечения трубного пучка из условия прочности крепления трубы в решетке, МПа;
R	— радиусгиба в углу крышки камеры аппарата воздушного охлаждения (см. рисунки 16—18);
R_1	— радиус центра тяжести тарелки фланца кожуха, мм;
R_2	— радиус центра тяжести тарелки фланца камеры, мм;
r_{com}	— радиусгиба при вершине волны компенсатора, мм;
S_k	— толщина стенки кожуха, мм;
S_n	— толщина трубной решетки в сечении канавки, мм;
$S_э$	— эквивалентная толщина втулки фланца, мм;

Sp	— толщина трубной решетки, мм;
S1p	— толщина 1-й решетки, если две трубные решетки отличаются друг от друга, мм;
S2p	— толщина 2-й решетки, если две трубные решетки отличаются друг от друга, мм;
Spr	— толщина трубной решетки в месте уплотнения под кольцевую прокладку, мм;
Spp	— расчетная толщина трубной решетки, мм;
St	— толщина стенки трубы, мм;
S1	— толщина стенки кожуха в месте соединения с трубной решеткой или с фланцем, мм;
S2	— толщина стенки камеры в месте соединения с трубной решеткой или с фланцем, мм;
S1pk	— толщина решетки в зоне кольцевой канавки, мм;
Sпер	— толщина перегородки по трубному пространству, мм;
S1пл	— толщина доньшка плавающей головки, мм;
S1A	— толщина трубной решетки камеры аппарата воздушного охлаждения в пределах зоны перфорации, мм;
S2A	— толщина доньшка крышки для камер по рисункам 15—18, толщина задней стенки для камер по рисункам 19—23, мм;
S3A	— толщина стенки крышки в месте присоединения к фланцу — для камер по рисункам 15—17, толщина верхней и нижней стенок — для камер по рисункам 20—23, мм. Для камер по рисункам 18—19:
S4A	$s5A = s4A$;
S5A	— толщина фланца крышки камеры аппарата воздушного охлаждения, мм;
S6A	— толщина боковой стенки камеры аппарата воздушного охлаждения, мм;
S7A	— толщина <i>i</i> -й перегородки камеры аппарата воздушного охлаждения, мм;

T	— общая толщина полукольца, мм;
$T_{ш}$	— ширина шипа, мм;
T_1, T_2, T_3	— коэффициенты, учитывающие влияние беструбного края и поддерживающие влияние труб;
t	— безразмерный параметр;
$t.1$	— шаг расположения отверстий в решетке аппарата воздушного охлаждения в продольном направлении, мм;
t_2	— шаг расположения отверстий в решетке аппарата воздушного охлаждения в поперечном направлении, мм;
t_n	— расстояние между осями рядов отверстий, расположенных с двух сторон от паза, мм;
t_p	— шаг расположения отверстий в решетке, мм;
t_k	— средняя температура стенки кожуха, °С;
T_T	— средняя температура стенок труб, °С;
$t.0$	— температура сборки аппарата, °С ($t_0 \approx 20$ °С) ;
W	— максимальный прогиб трубной решетки, мм;
W_d	— допустимый прогиб трубной решетки, мм;
γ	— прогиб трубы, мм;
$X_{ком}$ $U_{ком}$	— безразмерные параметры формы волны компенсатора;
$U_{кр}$	— угловая податливость крышки от действия внутреннего давления, $1/Н^* \text{ мм}^2$;

Укм	— угловая податливость крышки от действия болтового изгибающего момента, $1/H^* \text{ мм}$;
Урр	— угловая податливость решетки от действия внутреннего авления, $1/H^* \text{ мм}^2$;
Урм	— угловая податливость решетки от действия болтового изгибающего момента, $1/H^* \text{ мм}$;
Уб	— линейная податливость шпилек (болтов), $\text{мм}/H$;
Уп	— линейная податливость прокладки, $\text{мм}/H$;
Уф	— угловая податливость фланца (полукольца) плавающей головки, $1/H^* \text{ мм}$;
Z	— число рядов труб в поперечном направлении;
α	— коэффициент жесткости фланцевого соединения плавающей головки при нагружении внутренним давлением;
$\alpha.k$	— коэффициент линейного расширения материала кожуха при температуре t_k , $1/^\circ\text{C}$;
$\alpha.t$	— коэффициент линейного расширения материала труб при температуре t_t , $1/^\circ\text{C}$;
β	— коэффициент системы решетка — трубы, $1/\text{мм}$;
$\beta.0$	— угол наклона стенки расширителя (см. рис. 6)... $^\circ$;
$\beta.1$	— коэффициент системы кожух — решетка, $1/\text{мм}$;
$\beta.2$	— коэффициент системы обечайка — фланец камеры, $1/\text{мм}$;
$\beta.Y$	— расчетный коэффициент, зависящий от соотношения размеров фланца крышки плавающей головки;
$\beta.\text{ком}$	— отношение внутреннего диаметра компенсатора к наружному диаметру;
β_r	— отношение диаметра кожуха к диаметру расширителя;
β_n	— коэффициент формы днища крышки плавающей головки;
γ	— жесткость фланцевого соединения плавающей головки, $H/\text{мм}$;
δ	— высота сварного шва в месте приварки трубы к решетке, мм ;
$\delta.\text{ком}$	— толщина стенки компенсатора, мм ;

$\delta.p$	— толщина стенки расширителя, мм;
$\Delta\sigma.1$	— размах первых главных напряжений, МПа;
$\Delta\sigma.2$	— размах вторых главных напряжений, МПа;
$\Delta\sigma.3$	— размах третьих главных напряжений, МПа;
Δp	— перепад давлений между ходами по трубному пространству, МПа;
η	— относительная характеристика площади решетки аппарата воздушного охлаждения;
$\eta_{.м} \cdot \eta_{.т}$	— коэффициенты влияния давления на трубную решетку со стороны межтрубного и трубного пространства;
$\eta.p$	— коэффициент податливости фланцевого соединения крышки и решетки аппарата воздушного охлаждения;
$\Lambda_{.кр}$	— безразмерная характеристика нагружение крышки аппарата воздушного охлаждения болтовым изгибающим моментом;
$\Lambda_{.р}$	— безразмерная характеристика нагружения решетки аппарата воздушного охлаждения болтовым изгибающим моментом;
λ	— параметр, используемый при расчете на продольный изгиб;
$\lambda.p$	— относительная ширина бес трубного края решетки аппарата воздушного охлаждения;
$\lambda.y$	— параметр, используемый при расчете прогиба трубы;
ρ	— приведенное отношение жесткости труб к жесткости кожуха;
$\rho.1$	— приведенное отношение жесткости труб к жесткости фланцевого соединения;
$\sigma.p1$	— изгибные напряжения в трубной решетке в месте соединения с кожухом, МПа;
$\sigma.p2$	— изгибные напряжения в перфорированной части трубной решетки, МПа;
$\sigma.Mx$	— мембранные напряжения в кожухе в месте присоединения к решетке в меридиональном направлении, МПа;
$\sigma.ux$	— изгибные напряжения в кожухе в месте присоединения к решетке в меридиональном направлении, МПа;

$\sigma.M\phi$	— мембранные напряжения в кожухе в месте присоединения к решетке в окружном направлении, МПа;
$\sigma.u\phi$	— изгибные напряжения в кожухе в месте присоединения к решетке в окружном направлении, МПа;
$\sigma.l$	— суммарные напряжения в трубах в осевом направлении, МПа;
$\sigma.l\tau$	— мембранные напряжения в трубах в осевом направлении, МПа;
$\sigma.2\tau$	— мембранные напряжения в трубах в окружном направлении, МПа;
$\sigma.d$	— допускаемое напряжение для материала камеры аппарата воздушного охлаждения, МПа;
$\sigma.Ad$	— допускаемая амплитуда упругих напряжений, МПа;
$\sigma.dk$	— допускаемое напряжение для материала кожуха теплообменного аппарата или крышки аппарата воздушного охлаждения, МПа;
$\sigma.dp$	— допускаемое напряжение для материала решетки теплообменного аппарата или аппарата воздушного охлаждения, МПа;
$\sigma.dп$	— допускаемое напряжение для материала перегородки, МПа;
$\sigma.d\tau$	— допускаемое напряжение для материала труб, МПа;
$\sigma.d\tau$	— допускаемое напряжение для фланца крышки плавающей головки, МПа;
$\sigma.dl$	— допускаемое напряжение для днища крышки плавающей головки, МПа;
$\sigma.dB20$	— допускаемое напряжение для болтов (шпилек) при затяжке, МПа;
$\sigma.dBt$	— допускаемое напряжение для болтов (шпилек) в рабочих условиях, МПа;
$\tau.p1$	— касательные напряжения в трубной решетке в месте соединения с кожухом, МПа;
$\tau.p2$	— касательные напряжения в перфорированной части трубной решетки, МПа;

τ	— напряжения среза в шве приварки трубы к решетке, МПа;
ν	— относительная характеристика площади сечения трубы аппарата воздушного охлаждения;
$\Phi_{.1}, \Phi_{.2}, \Phi_{.3}$	— коэффициенты, учитывающие поддерживающее влияние труб;
ϕ	— коэффициент прочности сварного шва;
$\phi.1/\phi.6$	— коэффициенты формы крышек камер аппаратов воздушного охлаждения (см. рисунки 15 —18);
$\phi.c$	— коэффициент прочности шва приварки трубы к решетке;
$\phi.p$	— коэффициент ослабления решеток кожухотрубчатых теплообменных аппаратов с неподвижными трубными решетками и компенсатором на кожухе;
$\phi.E$	— эффективный коэффициент ослабления решеток кожухотрубчатых теплообменных аппаратов с плавающей головкой и U-образными трубами и решетки и задней стенки камер аппаратов воздушного охлаждения;
$\phi.T$	— коэффициент уменьшения допускаемого напряжения при продольном изгибе;
$\chi_{.кр}, \chi_{.с}$	— коэффициент сопротивления фланцевой части крышки аппарата воздушного охлаждения;
$\psi_{.кр}$	— безразмерная характеристика нагружения крышки аппарата воздушного охлаждения давлением, действующим на ее фланцевую часть;
$\psi_{.р}$	— безразмерная характеристика нагружения решетки аппарата воздушного охлаждения давлением, действующим на беструбную зону;
ψ	— угол между касательной к сферическому сегменту в краевой зоне днища крышки плавающей головки и вертикальной осью, град.;
$\psi.0$	— коэффициент жесткости перфорированной плиты;
Ω	— коэффициент несущей способности трубного пучка аппарата воздушного охлаждения;
ω	— безразмерный параметр системы решетка — трубы.

4.3.1. Расчет элементов кожухотрубчатых теплообменных аппаратов

Расчетные схемы

Основные тип кожухотрубчатого теплообменника с неподвижными трубными решетками приведен на рис. 1.

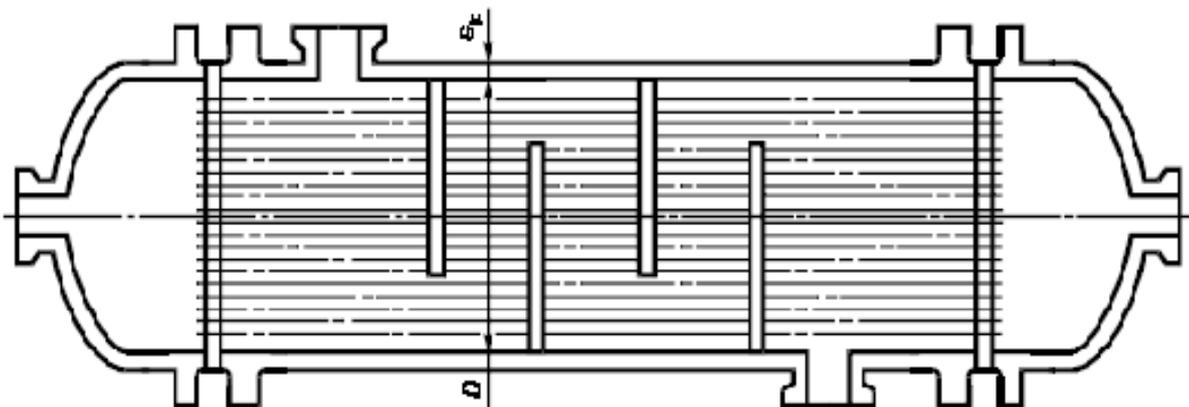


Рисунок 1 — Аппарат с неподвижными трубными решетками

Теплообменные аппараты с неподвижными трубными решетками, компенсатором или расширителем на кожухе

Толщины трубных решеток теплообменных аппаратов с неподвижными трубными решетками, компенсатором или расширителем на кожухе назначаются конструктивно с последующей проверкой по формулам настоящего раздела стандарта.

Вспомогательные величины

5.2.1.1 Относительную характеристику беструбного края трубной решетки вычисляют по формуле

$$a := 1600$$

внутренний радиус кожуха, мм

$$D := 2 \cdot a$$

внутренний диаметр кожуха,

$$D = 3.2 \times 10^3$$

$$a_1 := 1536$$

мм расстояние от оси кожуха до оси наиболее удаленной трубы, мм

определяется по ГОСТ 15118-79

$$m_n := \frac{a}{a_1}$$

$$m_n = 1.042$$

(1)

Коэффициенты влияния давления на трубную решетку

- со стороны межтрубного пространства:

$$i := 1801$$

число труб

$$d_T := 51$$

наружный диаметр трубы, мм

(2)

$$\eta_M = 1 - \frac{i d_T^2}{4 a_1^2}$$

$$\eta_M = 0.504$$

- со стороны трубного пространства:

$$s_T := 3.2$$

толщина стенки трубы, мм

(3)

$$\eta_T := 1 - \frac{i \cdot (d_T - 2 \cdot s_T)^2}{4 a_1^2}$$

$\eta_T = 0.62$ **Основные характеристики жесткости элементов теплообменного аппарата**

$\eta_T = 0.62$ Модуль упругости основания (системы труб) вычисляют по формуле

$$E_T := 2.01 \cdot 10^5$$

модуль продольной упругости материала труб, МПа

$$l := 8200$$

половина длины трубы теплообменного аппарата, мм

$$\frac{H}{\text{мм}^3}$$

(4)

$$K_y := \frac{E_T \cdot (\eta_T - \eta_M)}{1}$$

$$K_y = 2.862$$

Приведенное отношение жесткости труб к жесткости кожуха вычисляют по формуле

$$E_K := 1.86 \cdot 10^5$$

модуль продольной упругости материала кожуха, МПа

$$s_K := 18$$

толщина стенки кожуха, мм

$$\rho := \frac{K_y \cdot a_1 \cdot l}{E_K \cdot s_K}$$

(5)

$$\rho = 10.767$$

Коэффициенты изменения жесткости системы трубы — кожух вычисляют по формулам:

$$K_{q1} := 0$$

$$K_{p1} := 0$$

$$K_q := 1 + K_{q1}$$

$$K_q = 1$$

(6)

$$K_p := 1 + K_{p1}$$

(7)

$K_p = 1$ Для аппаратов с неподвижными трубными решетками
 $K_{p1} = K_{q1} = 0$

$K_p = 1$ Для аппаратов с компенсатором на кожухе, расширителем на кожухе и компенсатором на расширителе K_{p1} и K_{q1} определяют по приложению А.

Коэффициент системы решетка — трубы вычисляют по формуле:

$$s_p := 125$$

толщина трубной решетки, мм

Таблица Б.1 — Коэффициент жесткости перфорированной плиты ψ_0

η_r	0,4	0,45	0,5	0,55	0,6	0,65	0,7	0,75	0,8	0,85
ψ_0	0,12	0,15	0,2	0,25	0,3	0,37	0,44	0,51	0,59	0,68

$$\psi_0 := 0.33$$

Коэффициент прочности перфорированной трубы

$$E_p := 2.01 \cdot 10^5$$

модуль продольной упругости материала трубной решетки, МПа

Материал труб и трубной решетки:

material := Идентичный
Различный

Если материалы труб и трубной решетки различны необходимо ввести данные для них:

$$E_{p1} := E_p$$

$$s_{p1} := s_p$$

$$E_{p2} := E_p$$

$$s_{p2} := s_p$$

(8)

$$\beta := \begin{cases} \beta \leftarrow \frac{1.82}{s_p} \cdot \sqrt[4]{\frac{K_y \cdot s_p}{\psi_0 \cdot E_p}} & \text{if material} = 1 \\ \beta \leftarrow 1.53 \cdot \sqrt[4]{\frac{K_y}{\psi_0} \cdot \left(\frac{1}{E_{p1} \cdot s_{p1}^3} + \frac{1}{E_{p2} \cdot s_{p2}^3} \right)} & \text{if material} = 2 \end{cases}$$

(9)

$$\beta = 3.946 \times 10^{-3}$$

Безразмерный параметр системы решетка — трубы вычисляют по формуле

$$\omega := \beta \cdot a_1$$

$$\omega = 6.061$$

Коэффициенты ослабления трубной решетки ϕ_p , ϕ_E , жесткости перфорированной плиты ψ_0 , а также коэффициенты системы кожух — решетка β_1 , обечайка — фланец камеры β_2 и коэффициенты жесткости

фланцевого соединения при изгибе K_f приведены в приложениях Б—Е.

Приложение Б

Коэффициенты влияния перфорации на параметры трубной решетки

Б.1 Коэффициент ослабления трубной решетки при расчете кожухотрубчатых теплообменных аппаратов с неподвижными трубными решетками и компенсатором на кожухе вычисляют по формуле

$$d_0 := 51.15$$

диаметр отверстия в решетке, мм

$$t_{шр} := 1.2 \cdot d_T + 3$$

$$t_{шр} = 64.2$$

шаг расположения отверстий в решетке, мм

$$\phi_p := 1 - \frac{d_0}{t_{шр}}$$

$$\phi_p = 0.203$$

(Б1)

Б.2 Эффективный коэффициент ослабления ϕ_E при расчете кожухотрубчатых теплообменных аппаратов с плавающей головкой, U-образными трубами и аппаратов воздушного охлаждения вычисляют в зависимости от типа решеток

ii :=

для решеток с трубами, закреплёнными на всю толщину решетки
для решеток с трубами, закреплёнными в части толщины решетки
для стальных решеток с трубами из цветных металлов
для перфорированной задней стенки аппаратов воздушного охлаждения

$$d_{\text{пр}} := 20$$

диаметр резьбы пробок в задних стенках камер аппаратов воздушного охлаждения

$$d_E := \begin{cases} (d_0 - 2 \cdot s_T) & \text{if } ii = 1 \\ (d_0 - s_T) & \text{if } ii = 2 \\ d_0 & \text{if } ii = 3 \\ d_{\text{пр}} & \text{if } ii = 4 \end{cases}$$

$$\phi_E := 1 - \frac{d_E}{t_{\text{пр}}}$$

$$\phi_E = 0.303$$

Приложение В

Определение коэффициентов системы кожух-решетка, обечайка-фланец камеры и коэффициента жесткости фланцевого соединения при изгибе

Коэффициенты системы кожух — решетка, обечайка — фланец камеры и коэффициент жесткости фланцевого соединения при изгибе вычисляются по формулам:

$$s_1 := 18$$

толщина кожуха в месте соединения с трубной решеткой или фланцем, мм

$$s_2 := 18$$

толщина стенки распределительной камеры в месте соединения с трубной решеткой или фланцем

$$D_H := 3450$$

диаметр фланца, мм

$$R_1 := \frac{D_H + D}{4}$$

$$R_1 = 1.663 \times 10^3$$

радиус центра тяжести тарелки фланца кожуха

$$E_D := 2.01 \cdot 10^5$$

модуль упругости материала распределительной камеры, МПа

Так как диаметр распределительной камеры и кожуха равны, то

$$R_2 := R_1$$

фланец для распределительной камеры выполнен из того же материала что и фланец для кожуха следовательно

$$E_1 := 2.01 \cdot 10^5$$

МПа

$$E_2 := E_1$$

$$h_1 := 44$$

толщина тарелки фланца кожуха, мм

$$h_2 := 47$$

толщина тарелки фланца распределительной камеры, мм

$$\beta_1 := \frac{1.3}{\sqrt{a \cdot s_1}}$$

(B1)

$$\beta_2 := \frac{1.3}{\sqrt{a \cdot s_2}}$$

(B2)

(B3)

$$K_1 := \frac{\beta_1 \cdot E_D \cdot s_1^3}{5.5 \cdot R_1} \quad (B4)$$

$$K_2 := \frac{\beta_2 \cdot a \cdot E_D \cdot s_2^3}{5.5 \cdot R_2}$$

Для аппаратов воздушного охлаждения необходимо задаться

$$B_1 := 1400$$

$$B_2 := 1500$$

(B5)

$$K_{\phi 1} := \frac{E_1 \cdot h_1^3 \cdot B_1}{12 \cdot R_1^2} + K_1 \cdot \left(1 + \frac{\beta_1 \cdot h_1}{2} \right)$$

$$K_{\phi 1} = 2.422 \times 10^6$$

(B6)

$$K_{\phi 2} := \frac{E_2 \cdot h_2^3 \cdot B_2}{12 \cdot R_2^2} + K_2 \cdot \left(1 + \frac{\beta_2 \cdot h_2}{2} \right)$$

$$K_{\phi} := K_{\phi 1} + K_{\phi 2}$$

$$K_{\phi} = 5.22 \times 10^6 \quad (B7)$$

$$K_{\phi} = 5.22 \times 10^6$$

Приложение Г

Значения T_1 , T_2 , T_3 определяются по расчетному модулю 9 в зависимости от ω и m_N

```

om := | 0 if 0 ≤ ω < 0.456
      | 1 if 0.456 ≤ ω < 0.756
      | 2 if 0.756 ≤ ω < 1.256
      | 3 if 1.256 ≤ ω < 1.756
      | 4 if 1.756 ≤ ω < 2.256
      | 5 if 2.256 ≤ ω < 2.756
      | 6 if 2.756 ≤ ω < 3.256
      | 7 if 3.256 ≤ ω < 3.756
      | 8 if 3.756 ≤ ω < 4.56
      | 9 if 4.56 ≤ ω < 5.56
      |10 if 5.56 ≤ ω < 6.56
      |11 if 6.56 ≤ ω < 7.56
      |12 if 7.56 ≤ ω < 8.56
      |13 if 8.56 ≤ ω < 9.56
      |14 if 9.56 ≤ ω ≤ 10
      |15 if ω > 10

```

```

mm := | 0 if 1 ≤ mn < 1.056
      | 1 if 1.056 ≤ mn < 1.156
      | 2 if 1.156 ≤ mn < 1.256
      | 3 if 1.256 ≤ mn < 1.356
      | 4 if 1.356 ≤ mn < 1.456
      | 5 if 1.456 ≤ mn < 1.50

```

mm = 0

```
Tm := READPRN ("MOD9.txt")
```

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$T_m =$	2	2	2.06	2.26	2.79	3.58	4.5	5.39	6.19	7.65
	2.2	2.35	2.59	3.07	4.02	5.51	7.39	9.44	11.6	16.2
	2.4	2.73	3.21	4.04	5.61	8.14	11.5	15.5	19.8	30.2
	2.6	3.34	3.92	5.22	7.64	11.6	17.1	23.9	31.6	50.8
	2.8	3.59	4.74	6.65	10.2	16	24.4	35	47.5	79.2
	3	4.07	5.67	8.35	13.3	21.6	33.7	49.3	68	116
	0	0.02	0.19	0.62	1.32	2.16	2.97	3.59	4.13	5.13
	0	0.02	0.22	0.75	1.69	2.92	4.18	5.36	6.46	8.75
	0	0.02	0.24	0.88	2.06	3.68	5.43	7.13	8.79	12.4
	0	0.02	0.27	1.01	2.44	4.44	4.67	8.9	11.1	16
	0	0.03	0.3	1.14	2.81	5.21	7.91	10.7	13.4	19.6
	0	0.03	0.32	1.28	3.18	5.97	9.16	12.4	15.8	23.2
	0	0.19	0.76	1.65	2.75	3.76	4.65	5.36	6.03	7.38
	0	0.21	0.84	1.81	3.02	4.14	5.11	5.9	6.63	8.12
	0	0.23	0.91	1.98	3.3	4.51	5.58	6.43	7.24	8.86
	0	0.25	0.99	2.14	3.57	4.89	6.04	6.97	7.84	...

$$T_1 := T_{m_{mm, \omega m}}$$

$$T_2 := T_{m_{mm+6, \omega m}}$$

$$T_3 := T_{m_{mm+12, \omega m}}$$

$$T_1 = 9.08$$

$$T_2 = 6.13$$

$$T_3 = 8.81$$

Приложение E

Допускаемая нагрузка на вальцовочное соединение трубы с решеткой

При отсутствии более точных данных допускается вычислять допускаемую нагрузку на вальцовочное соединение трубы с решеткой по формулам:

iii :=

$$\sigma_{dT} := 180$$

допускаемое напряжение для труб, МПа

$$\sigma_{dp} := 240$$

допускаемое напряжение для трубной решетки, МПа

Так как трубы развальцовываются на всю толщину трубной решетки, то глубина развальцовки труб равна:

$$l_B := s_T$$

$$N_{dTP} := \begin{cases} \left[0.5 \cdot \pi \cdot s_T \cdot (d_T - s_T) \cdot \min\left(\frac{l_B}{d_T}, 1.6\right) \cdot \min(\sigma_{dT}, \sigma_{dp}) \right] & \text{if } iii = 1 \\ \left[0.6 \cdot \pi \cdot s_T \cdot (d_T - s_T) \cdot \min(\sigma_{dT}, \sigma_{dp}) \right] & \text{if } iii = 2 \\ \left[0.8 \cdot \pi \cdot s_T \cdot (d_T - s_T) \cdot \min(\sigma_{dT}, \sigma_{dp}) \right] & \text{if } iii = 3 \end{cases}$$

Допускаемая нагрузка на вальцовочное соединение трубы с решеткой:

$$N_{dTP} = 6.92 \times 10^4 \text{ Н}$$

Определение усилий в элементах теплообменного аппарата

Приведенное давление p_0

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

коэффициент линейного расширения кожуха, ГОСТ Р52857.1-2007
таблица Г.1, 1/С

$$\alpha_T := \alpha_K$$

так как материал идентичен

$$t_K := 230$$

средняя температура стенки кожуха, С

$$t_0 := 20$$

температура сборки аппарата, С

$$t_T := 200$$

средняя температура стенок труб, С

где m_{sr} — коэффициент влияния давления на продольную деформацию труб:

$$m_{cp} := 0.15 \cdot \frac{i \cdot (d_T - s_T)^2}{a_1^2}$$

$$m_{cp} = 0.262$$

(12)

$$p_T := 0.077$$

расчетное давление в трубном пространстве, МПа

$$p_M := 0.0041$$

расчетное давление в межтрубном пространстве, МПа

$$p_{0x} := [\eta_M - 1 + m_{cp} + m_n \cdot (m_n + 0.3 \cdot \rho \cdot K_p)] \cdot p_M$$

$$p_0 := [\alpha_K \cdot (t_K - t_0) - \alpha_T \cdot (t_T - t_0)] \cdot K_y \cdot 1 + [\eta_T - 1 + m_{cp} + m_n \cdot (m_n + 0.5 \cdot \rho \cdot K_q)] \cdot p_T$$

$$p_0 = 8.656$$

МПа

Приведенное отношение жесткости труб к жесткости фланцевого соединения

$$\rho_1 := \frac{K_y \cdot a \cdot a_1}{\beta^2 \cdot K_\Phi \cdot R_1}$$

(13)

$$\rho_1 = 52.062$$

Коэффициенты, учитывающие влияние беструбного края и поддерживающие влияние труб $\Phi 1$, $\Phi 2$, $\Phi 3$

$$\Phi := \begin{cases} f1 \leftarrow \frac{0.7}{\omega} \cdot \left(\frac{d}{d\omega} \text{ber}(0, \omega) \right) + \text{bei}(0, \omega) \\ f2 \leftarrow \frac{0.7}{\omega} \cdot \frac{d}{d\omega} \text{bei}(0, \omega) - \text{ber}(0, \omega) \\ x1 \leftarrow \frac{0.7}{\omega} \cdot \left(\frac{d}{d\omega} \text{ber}(0, \omega) \cdot \text{bei}(0, \omega) - \frac{d}{d\omega} \text{bei}(0, \omega) \cdot \text{ber}(0, \omega) \right) \\ T_{\Phi} \leftarrow -f2 \cdot \frac{d}{d\omega} \text{bei}(0, \omega) - f1 \cdot \frac{d}{d\omega} \text{ber}(0, \omega) \\ \left[\begin{array}{l} \frac{\omega}{T_{\Phi}} \cdot (\text{ber}(0, \omega)^2 + \text{bei}(0, \omega)^2 + x1) \\ \frac{\omega}{T_{\Phi}} \cdot \left(\text{ber}(0, \omega) \cdot \frac{d}{d\omega} \text{ber}(0, \omega) + \frac{d}{d\omega} \text{bei}(0, \omega) \cdot \text{bei}(0, \omega) \right) \\ \frac{\omega}{T_{\Phi}} \cdot \left[\left(\frac{d}{d\omega} \text{ber}(0, \omega) \right)^2 + \left(\frac{d}{d\omega} \text{bei}(0, \omega) \right)^2 \right] \end{array} \right] \text{ if } \omega < 10 \\ \left(\begin{array}{l} \sqrt{2 \cdot \omega} \\ \omega \\ \sqrt{2 \cdot \omega} \end{array} \right) \text{ if } \omega \geq 10 \end{cases}$$

$$\Phi = \begin{pmatrix} 9.163 \\ 6.209 \\ 8.895 \end{pmatrix}$$

$$\Phi_1 := \Phi_0$$

$$\Phi_2 := \Phi_1$$

$$\Phi_3 := \Phi_2$$

$$\Phi_1 = 9.163$$

$$\Phi_2 = 6.209$$

$$\Phi_3 = 8.895$$

Значения $T1, T2, T3$ в зависимости от ω и m_n

$$t := 1 + 1.4 \cdot \omega \cdot (m_n - 1)$$

(17)

$$t = 1.354$$

$$T_1 := \Phi_1 \cdot [m_n + 0.5 \cdot (1 + m_n \cdot t) \cdot (t - 1)]$$

(14)

$$T_1 = 13.448$$

$$T_2 := \Phi_2 \cdot t$$

$$T_2 = 8.403 \quad (15)$$

$$T_2 = 8.403 \quad T_3 := \Phi_3 \cdot m_n$$

$$T_3 = 9.266$$

(16) *Изгибающий момент и перерезывающая сила, распределенные по краю трубной решетки:*

(16) - для изгибающего момента, Н*мм/мм:

Коэффициент влияния давления на изгиб 1 и 2 го фланца, мм²:

$$m_1 := \frac{1 + \beta_1 \cdot h_1}{2 \cdot \beta_1^2}$$

$$m_1 = 1.139 \times 10^4$$

(21)

$$m_2 := \frac{1 + \beta_2 \cdot h_2}{2 \cdot \beta_2^2}$$

$$m_2 = 1.159 \times 10^4$$

(22)

Приведенное давление на фланцы, МПа:

$$p_1 := \frac{K_y}{\beta \cdot K_\phi} \cdot (m_1 \cdot p_M - m_2 \cdot p_T)$$

(20)

$$p_1 = -0.118$$

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

$$M_{\Pi} = -2.08 \times 10^4$$

(18)

- для перерезывающей силы, Н/мм:

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

(19)

$$Q_{\Pi} = 577.562$$

Изгибающий момент и перерезывающие силы, распределенные по периметру перфорированной зоны решетки:

- для изгибающего момента:

$$M_a := M_{\Pi} + (a - a_1) \cdot Q_{\Pi}$$

$$M_a = 1.616 \times 10^4 \text{ Н} \cdot \frac{\text{мм}}{\text{мм}}$$

(23)

- для перерезывающей силы:

$$Q_a := m_{\Pi} \cdot Q_{\Pi}$$

$$Q_a = 601.627 \frac{\text{Н}}{\text{мм}}$$

(24)

Осевая сила и изгибающий момент, действующие на трубу:

- для осевой силы:

$$N_T := \frac{\pi \cdot a_1}{i} \cdot \left[(\eta_M \cdot p_M - \eta_T \cdot p_T) \cdot a_1 + \Phi_1 \cdot Q_a + \Phi_2 \cdot \beta \cdot M_a \right]$$

(25)

$$N_T = 1.564 \times 10^4$$

Н

- для изгибающего момента:

$$J_T := \frac{\pi \cdot d_T^4}{64} \cdot \left[1 - \left(\frac{d_T - 2 \cdot s_T}{d_T} \right)^4 \right]$$

$$J_T = 1.379 \times 10^5 \text{ мм}^4$$

$$jj := \begin{cases} \text{с перегородками в кожухе} \\ \text{Без перегородок в кожухе} \end{cases}$$

Максимальный пролет трубы между решеткой и перегородкой:

$$l1 := 52 \cdot d_T + 532$$

$$l1 = 3.184 \times 10^3 \text{ м}$$

принимаем

$$l_{1R} := 3200 \text{ мм}$$

$$l_{\text{пр}} := \begin{cases} 1 & \text{if } jj = 2 \\ \frac{l_{1R}}{3} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$l_{\text{пр}} = 1.067 \times 10^3 \text{ мм}$$

$$M_T := \frac{E_T \cdot J_T \cdot \beta}{K_y \cdot a_1 \cdot l_{\text{пр}}} \cdot (\Phi_2 \cdot Q_a + \Phi_3 \cdot \beta \cdot M_a)$$

$$M_T = 1.003 \times 10^5 \quad (26)$$

$M_T = 1.003 \times 10^5$ Усилия в кожухе вычисляют:

- усилие, распределенное по периметру кожуха:

$$Q_K := \frac{a}{2} \cdot p_T - Q_{\text{п}}$$

$$Q_K = -515.962 \frac{\text{Н}}{\text{мм}}$$

(27)

- изгибающий момент, распределенный по периметру кожуха, Н*мм/мм:

$$M_K := \frac{K_1}{\rho \cdot K_\phi \cdot \beta} \cdot (T_2 \cdot Q_{II} + T_3 \cdot \beta \cdot M_{II}) - \frac{P_M}{2 \cdot \beta \cdot l^2}$$

$$M_K = 2.68 \times 10^4$$

(28)

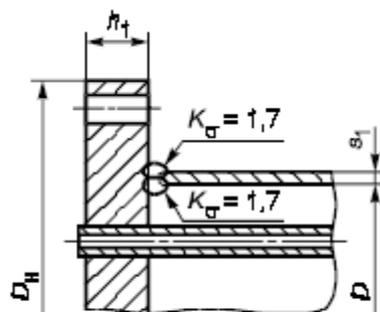
- суммарная осевая сила, действующая на кожух:

$$F := \pi \cdot D \cdot Q_K$$

$$F = -5.187 \times 10^6 \text{ Н}$$

Расчетные напряжения в элементах конструкции

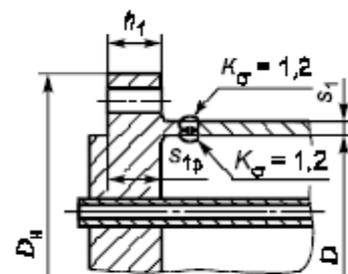
Расчетные схемы присоединения решетки к кожуху:



$$b_1 = \frac{D_n - D}{2}; R_1 = \frac{D_n + D}{4};$$

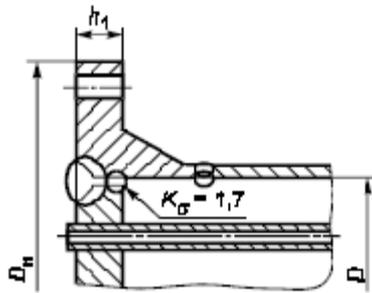
$$s_{1p} = s_p$$

Рисунок 7 — решетка, приваренная втавр к обечайке кожуха



$$b_1 = \frac{D_n - D}{2}; R_1 = \frac{D_n + D}{4};$$

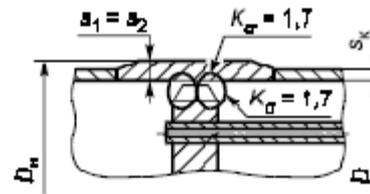
Рисунок 8 — решетка, приваренная встык к обечайке кожуха



$$b_1 = \frac{D_H - D}{2}; R_1 = \frac{D_H + D}{4};$$

$$s_1 = s_3.$$

Рисунок 9 — решетка, сваренная во фланец



$$b_1 = \frac{D_H - D}{2}; R_1 = \frac{D_H + D}{4}; h_1 = s_p;$$

$$b_2 = 0; R_2 = R_1; h_1 = s_p; s_{1p} = s_p.$$

Рисунок 10 — решетка, сваренная в кожух

$$b_1 := \frac{D_H - D}{2}$$

b_1 — ширина тарелки фланца кожуха, мм;

b_2 — ширина тарелки фланца камеры, мм;

D — внутренний диаметр кожуха или плавающей головки, мм;

D_H — наружный диаметр фланца, мм;

h_1 — толщина тарелки фланца кожуха, мм

R_1 — радиус центра тяжести тарелки фланца кожуха, мм

R_2 — радиус центра тяжести тарелки фланца камеры, мм;

s_p — толщина трубной решетки, мм;

s_1 — толщина стенки кожуха в месте соединения с трубной решеткой или с фланцем, мм;

s_{1p} — толщина решетки в зоне кольцевой канавки, мм;

s_3 — эквивалентная толщина втулки фланца, мм;

$$b_1 = 125$$

$$R_1 = 1.663 \times 10^3$$

$$s_{1p} := s_p$$

$$s_{1p} = 125$$

$$b_2 := 0$$

В первом приближении принимаем эквивалентную толщину втулки фланца равной толщине кожуха

$$s_{\text{Э}} := s_{\text{К}}$$

$$s_{1p} := s_{\text{Э}}$$

Расчетные напряжения в трубных решетках.

Напряжения в трубной решетке в месте соединения с кожухом вычисляют по формулам:

c — расчетная прибавка к толщине трубной решетки, крышке плавающей головки, элементам аппаратов воздушного охлаждения, мм. При назначении величины « c » для трубной решетки и крышки плавающей головки следует учитывать коррозию как со стороны трубного, так и межтрубного пространства;

$$c_w := 2$$

ω

-изгибные:

$$\sigma_{p1} := \frac{6 \cdot |M_{\Pi}|}{(s_{1p} - c)^2}$$

$$\sigma_{p1} = 8.25 \text{ МПа}$$

(30) - касательные:

$$\tau_{p1} := \frac{|Q_{\Pi}|}{s_{1p} - c}$$

$$\tau_{p1} = 4.696 \text{ МПа}$$

(31) Напряжения в перфорированной части трубной решетки вычисляют по формулам

(31) A — коэффициент, определяемый по приложению Г в зависимости от ω и mA :

B — коэффициент, определяемый по приложению Г, в зависимости от ω и nB :

ω - Безразмерный параметр си-темы решетка — трубы вычисляют по формуле 10

$$m_a := \frac{\beta \cdot M_a}{Q_a}$$

$$m_a = 0.106$$

$$n_B := \frac{Q_a}{\beta \cdot M_a}$$

$$n_B = 9.435$$

$$A := 0.46$$

$$B := 1.071$$

$$M_{\max} := \begin{cases} A \cdot \frac{|Q_a|}{\beta} & \text{if } -1 \leq \frac{\beta \cdot M_a}{Q_a} \leq 1 \\ B \cdot |M_a| & \text{otherwise} \end{cases}$$

(36)

$$M_{\max} = 7.014 \times 10^4 \text{ Н} \cdot \frac{\text{мм}}{\text{мм}}$$

- изгибные:

$$\sigma_{p2} := \frac{6 \cdot M_{\max}}{\left[\phi_p \cdot (s_p - c)^2 \right]}$$

$$\sigma_{p2} = 136.841 \text{ МПа}$$

(32)

- касательные:

$$\tau_{p2} := \frac{|Q_a|}{\phi_p \cdot (s_p - c)}$$

$$\tau_{p2} = 24.063$$

(33)

МПа *Напряжения в кожухе в месте присоединения к решетке:*
МПа ск — расчетная прибавка к толщине стенки кожуха, мм;

$$c_K := 2$$

мм

- в меридиональном направлении:

мембранные:

$$\sigma_{Mx} := \frac{|Q_K|}{(s_1 - c_K)}$$

$$\sigma_{Mx} = 32.248 \text{ МПа}$$

(38)

изгибные:

$$\sigma_{ux} := \frac{6 \cdot |M_K|}{(s_1 - c_K)^2}$$

$$\sigma_{ux} = 628.15 \text{ МПа}$$

(39)

- в окружном направлении:

мембранные:

$$\sigma_{M\phi} := \frac{|p_M| \cdot a}{s_1 - c_K}$$

$$\sigma_{M\phi} = 0.41 \text{ МПа}$$

(40)

изгибные:

$$\sigma_{u\phi} := 0.3 \cdot \sigma_{ux}$$

$$\sigma_{u\phi} = 188.445 \text{ МПа}$$

(41)

Напряжения в трубах:

- в осевом направлении:

мембранные:

$$\sigma_{1T} := \frac{|N_T|}{\pi (d_T - s_T) \cdot s_T}$$

$$\sigma_{1T} = 32.553 \text{ МПа}$$

(42)

суммарные:

$$\sigma_1 := \sigma_{1T} + \frac{d_T \cdot |M_T|}{2J_T}$$

$$\sigma_1 = 51.109 \text{ МПа}$$

в окружном направлении:

$$\sigma_{2T} = 0.575 \text{ МПа}$$

4.3.2. Проверка прочности трубных решёток

Проверка статической прочности

$$\max(\tau_{p1}, \tau_{p2}) \leq 0.8 \cdot \sigma_{др}$$

(45)

$$\text{Проверка} := \begin{cases} \text{"Условие выполняется"} & \text{if } (\max(\tau_{p1}, \tau_{p2}) \leq 0.8 \cdot \sigma_{др}) \\ \text{"Условие НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Проверка = "Условие выполняется"

5.2.4.2 Проверку трубной решётки на малоцикловую прочность проводят по ГОСТ Р 52857.6.

Не требуется

5.2.4.3 Для многоходовых по трубному пространству теплообменных аппаратов прочность трубных решёток в зоне паза под перегородку проверяют по формулам, приведенным в 5.6.

Не требуется

4.3.3. Проверка жесткости трубных решеток

Проверку проводят в случаях, когда к жесткости трубных решеток предъявляются какие-либо дополнительные требования, например для аппаратов со стекающей пленкой, с перегородками по трубному пространству, если недопустим переток между ходами.

Условие жесткости:

Необходимые данные

K_y - модуль упругости основания (системы труб), Н/мм³;

a_1 -расстояние от оси кожуха до оси–наиболее удаленной трубы, мм;

T_1, T_2 коэффициенты, учитывающие влияние беструбного края и поддерживающие влияние труб;

Q_{Π} перерезывающая сила, распределенная по краю трубной решетки, Н/мм;

β коэффициент системы решетка — трубы, 1/мм;

M_{Π} изгибающий момент, распределенный по периметру трубной решетки, Н * мм/мм;

$$W := \frac{1.2}{K_y \cdot a_1} \cdot |T_1 \cdot Q_{\Pi} + T_2 \cdot \beta \cdot M_{\Pi}|$$

$$W = 1.932 \text{ мм}$$

Рекомендуемая допустимая величина прогиба трубной решетки, мм, в зависимости от диаметра аппарата

$$W_d := \begin{cases} W_d \leftarrow 0.7 & \text{if } D \leq 600 \\ W_d \leftarrow 0.9 & \text{if } 600 < D \leq 1000 \\ W_d \leftarrow 1.1 & \text{if } 1000 < D \leq 2000 \\ W_d \leftarrow 1.2 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$W_d = 2.012 \text{ мм}$$

Проверка условия жесткости:

$$Us1_525 := \begin{cases} \text{"Условие выполняется"} & \text{if } W \leq W_d \\ \text{"Условие НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Условие жесткости выполняется $W < W_d$

4.3.4. Расчет прочности и устойчивости кожуха

Проверку прочности кожуха в месте присоединения к решетке следует проводить только для конструкций, приведенных на рисунках 7, 8 и 10

σ_{Mx} мембранные напряжения в кожухе в месте присоединения к решетке в меридиональном направлении, МПа;

σ_{dk} допускаемое напряжение для материала кожуха теплообменного аппарата или крышки аппарата воздушного охлаждения, МПа;

$$\sigma_{dk} := 183 \text{ МПа}$$

$$Us1_5261 := \begin{cases} \text{"Условие выполняется "} & \text{if } \sigma_{Mx} \leq 1.3 \cdot \sigma_{dk} \\ \text{"Условие НЕ выполняется "} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$Us1_5261 = \text{"Условие выполняется "}$$

Условие статической прочности кожуха в месте присоединения к решетке: не требуется

Проверку кожуха на малоцикловую прочность в месте присоединения к решетке проводят по ГОСТ Р 52857.6. В случае, если в расчете должна учитываться ползучесть материала, допускается проводить проверку на малоцикловую прочность по приложению Д

Проверку кожуха на малоцикловую прочность в месте присоединения к решетке: не требуется

Если условие прочности кожуха в месте соединения с решеткой не выполняется, можно установить переходный пояс увеличенной толщины длиной не менее $2 \cdot \sqrt{D \cdot s_1}$ не требуется

В случае, если осевая сила в кожухе $F < 0$, следует провести проверку кожуха на местную устойчивость от действия сжимающей силы F по ГОСТ Р 52857.2.

4.3.5. Расчет труб на прочность, устойчивость и жесткость и расчет крепления труб в решетке

Условие статической прочности труб:

σ_{1T} мембранные напряжения в трубах в осевом направлении, МПа;

σ_{2T} мембранные напряжения в трубах в окружном направлении, МПа;

σ_{dT} допускаемое напряжение для материала труб, МПа;

$$Us1_5271 := \begin{cases} \text{"Условие выполняется"} & \text{if } \max(\sigma_{1T}, \sigma_{2T}) \leq \sigma_{dT} \\ \text{"Условие НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$Us1_5271 = \text{"Условие выполняется"}$

Проверку труб на малоцикловую прочность проводят по ГОСТ Р 52857.6. В случае, если при расчете должна учитываться ползучесть материала, допускается проводить проверку на малоцикловую прочность по приложению Д.

Проверка не требуется

Проверка труб на устойчивость проводится в случае, если $N_T < 0$.

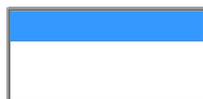
ϕ_t коэффициент уменьшения допускаемого напряжения при продольном изгибе, определяемый по графику на рисунке 11, в зависимости от λ .

E_T модуль продольной упругости материала труб, МПа;

d_T наружный диаметр трубы, мм;

s_T толщина стенки трубы, мм;

условия :=



где $K_T = 1,3$ — для рабочих условий;

$K_T = 1,126$ — для условий гидроиспытания;

$l_R = l$ — для аппаратов без перегородок;

$l_R = \max\{l_{2R}; 0,7l_{1R}\}$ — для аппаратов с перегородками.

$$K_T := \begin{cases} 1.3 & \text{if } \text{условия} = 2 \\ 1.126 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$l_{2R} := 400 \quad l_R := \max(l_{2R}, 0.7 \cdot l_{1R})$$

$$l_{2R} := 400 \quad l_R = 2.24 \times 10^3$$

$$\lambda := K_T \cdot \sqrt{\frac{\sigma \cdot d_T}{E_T}} \cdot \frac{l_R}{(d_T - s_T)}$$

$$\lambda = 1.579$$

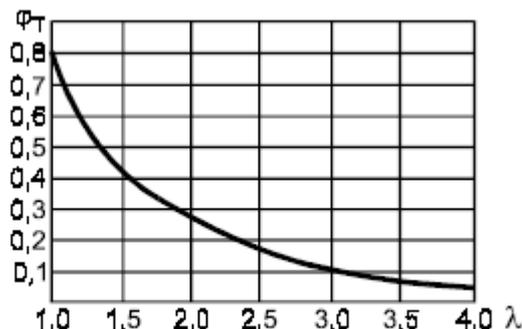


Рисунок 11 — коэффициент уменьшения допускаемого напряжения при продольном изгибе

Проверка жесткости труб

Проверку проводят в случаях, когда к жесткости труб предъявляют какие-либо дополнительные требования, например, для аппаратов со стекающей пленкой. Проверку жесткости труб проводят только при $N_T < 0$.

Прогиб трубы вычисляют по формуле

$$A_y := 0.2$$

$$Y := A_y \cdot \frac{|M_T|}{|N_T|}$$

$$Y = 1.283 \text{ мм}$$

где A_y — коэффициент, определяемый по графику, приведенному на рисунке 12, в зависимости от λ_y

$$J_T := \frac{\pi}{64} \cdot [d_T^4 - (d_T - 2 \cdot s_T)^4]$$

$$J_T = 1.379 \times 10^5 \text{ мм}^4$$

$$\lambda_y := \frac{|N_T| \cdot l_{np}^2}{E_T \cdot J_T}$$

$$\lambda_y = 0.642$$

где $l_{np} = l$ — для аппаратов без перегородок в кожухе.

$l_{np} = \frac{l_R}{3}$ — для аппаратов с перегородками.

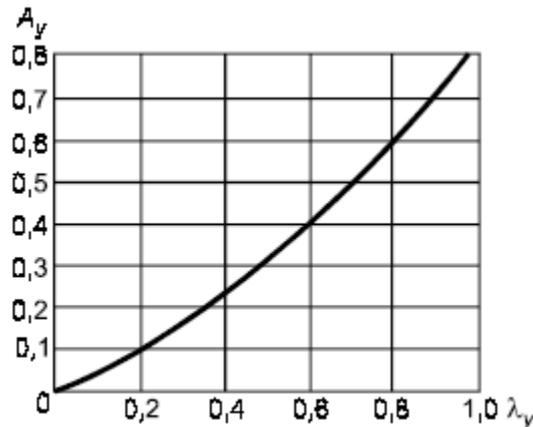


Рисунок 12 — Коэффициент для определения максимального прогиба трубы

Во всех случаях прогиб трубы не должен превышать зазор между трубами в пучке и приводить к их соприкосновению.

Проверка прочности крепления трубы в решетке

Если трубы крепятся в решетке с помощью развальцовки, должно выполняться условие:

$$Us1_5275 := \begin{cases} \text{"Условие выполняется"} & \text{if } |N_T| \leq N_{dTP} \\ \text{"Условие НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$Us1_5275 = \text{"Условие выполняется"}$$

Допускаемая нагрузка на соединение трубы с решеткой N_{dTP} определяется на основании испытаний или по нормативным документам.

При отсутствии данных о прочности вальцовочного соединения допускается принимать N_{dTP} по приложению Е.

4.3.6. Дополнительные требования к толщинам трубных решеток

При наличии без трубной зоны (см. рисунок 14) принятая толщина трубной решетки должна дополнительно удовлетворять условию

$$D_E := 100$$

величина определяется по конкретному исполнению трубной решетки

$$p_p := \max(p_T, p_M)$$

$$p_p = 0.077 \text{ МПа}$$

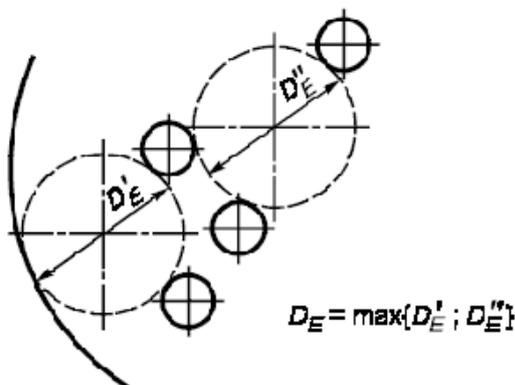


Рисунок 14 — Диаметр окружности, вписанной в максимальную беструбную площадь

$$USL551 := \begin{cases} \text{"Условие выполняется"} & \text{if } s_p \geq 0.5 \cdot D_E \cdot \sqrt{\frac{p_p}{\sigma_{df}}} + c \\ \text{"Условие НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$USL551 = \text{"Условие выполняется"}$$

Перегородки между ходами по трубному пространству кожухотрубчатых теплообменных аппаратов

Толщина перегородки должна отвечать условию

$$B_{\text{пер}} := 1400$$

ширина перегородки, мм

$$L_{\text{пер}} := 400$$

длина перегородки, мм

$$\Delta p := 0.2 \cdot p_T$$

$$\Delta p = 0.015$$

Реально проводят гидравлический расчет

$$\sigma_{d\Pi} := 180$$

Допускаемое напряжение для материала перегородки, МПа

$$c_{\Pi} := 3$$

Прибавка на коррозию перегородки, мм

$$s_{\text{пер}} := 10$$

Толщина перегородки, мм

$$f_{\Pi} := \frac{1}{1 + \frac{V_{\text{пер}}}{L_{\text{пер}}} + \left(\frac{V_{\text{пер}}}{L_{\text{пер}}}\right)^2}$$

$$f_{\Pi} = 0.06$$

$$s_{\text{пер}} \geq 0.71 \cdot V_{\text{пер}} \cdot \sqrt{\frac{\Delta p \cdot f_{\Pi}}{\sigma_{d\Pi}}} + c_{\Pi}$$

$$0.71 \cdot V_{\text{пер}} \cdot \sqrt{\frac{\Delta p \cdot f_{\Pi}}{\sigma_{d\Pi}}} + c_{\Pi} = 5.246$$

$$s_{\text{пер}} = 10$$

$$\text{USL56} := \begin{cases} \text{"Условие выполняется"} & \text{if } s_{\text{пер}} \geq 0.71 \cdot V_{\text{пер}} \cdot \sqrt{\frac{\Delta p \cdot f_{\Pi}}{\sigma_{d\Pi}}} + c_{\Pi} \\ \text{"Условие НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

USL56 = "Условие выполняется"

4.4. Расчет тепловой изоляции теплообменника [14]

Целью расчёта тепловой изоляции является определение необходимой толщины слоя теплоизоляционного материала, покрывающего наружную поверхность теплообменника с целью снижения тепловых потерь и обеспечения требований безопасности и охраны труда при обслуживании теплоиспользующих установок. Температура поверхности слоя изоляции не должна превышать 45°C..

Исходные данные:

Материал для тепловой изоляции - стеклянная вата..

$d := 3.2$ м диаметр изолируемого корпуса аппарата;

$\lambda := 0.05$ Вт/(м²*К) - теплопроводность сухого материала –изоляции;

$\alpha_e := 6$ Вт/(м²*К) - коэффициент теплоотдачи от наружно – поверхности изоляции;

$t_B := 150$ °С - температура вещества (воздух);

$t_{И} := 35$ ° – требуемая температура внешнего слоя изоляции;

$t_C := 20$ °С - температура окружающей среды;

Расчет толщины теплоизоляционного слоя по температуре на поверхности изоляции

Коэффициент увлажнения материала теплоизоляционного слоя:

$k := 1$

Теплопроводность изоляционного слоя:

$\lambda_k := \lambda \cdot k$

$\lambda_k = 0.05$ Вт/(м²*К)

Отношение наружного диаметра изоляционного слоя к наружному диаметру изолируемого объекта:

$$B := e^{\left[\lambda_k \cdot (t_B - t_{И}) \cdot \frac{2}{\alpha_e \cdot d \cdot (t_{И} - t_C)} \right]}$$

$B = 1.041$

Толщина теплоизоляционного слоя, обеспечивающая заданную температуру на поверхности изоляции для цилиндрических объектов диаметром более 2м:

$$\delta_{\text{И}} := d \cdot \frac{(B - 1)}{2}$$

$$\delta_{\text{И}} = 0.065 \text{ м}$$

Вывод: таким образом, принимается толщина теплоизоляционного слоя стеклянной ваты равная 65 мм.

5. Монтаж технологического оборудования

5.1. Этапы монтажа технологического оборудования

При создании промышленного производства, стараются уменьшить стоимостное количество удельных капитальных вложений, конечной себестоимости продукции, эксплуатационных расходов. Для этого уже при проектировании оборудования и его изготовлении, нужно предусмотреть каким методом будет производиться его монтаж. В настоящее время монтаж технологического оборудования разделяют на несколько этапов.

Первый – организационная и технологическая подготовка

- Передача заказчиком монтажной организации технической документации. Включает в себя планы, сметную документацию, чертежи, дополнительную документацию.
- Подготовка специальной площадки. В дальнейшем будет использоваться для складирования. Поэтому она должна располагаться как можно ближе к месту **монтажа**.
- Обеспечение полной строительной готовности.
- Поставка оборудования.
- Оснащение подготовленного участка оборудованием для производства **монтажа**.
- Разработка, создание надлежащих условий труда (соответствие с техникой безопасности).
- Организация возможности контроля качества монтажа технологического оборудования. В случае необходимости – подготовка кадров.

Второй – установка и сборка технологического оборудования.

Монтажом называют перемещение, подъем, сборку **технологического оборудования**, его установку в положение, согласно проекту. Во время проведения **монтажа** требуется придерживаться следующих правил:

- Проводить его в светлое время суток.
- Он не должен производиться на открытой площадке, при силе ветра выше 6 баллов, гололеде, осадках любого типа.
- Если при подъеме груза его не получается установить в проектное положение до окончания смены, то он должен быть, в обязательном порядке, опущен вниз.
- При подъеме груз должен быть застропован. Это значит, что стропы должны налагаться равномерно, без перекруток и узлов. Нужно следить за тем, чтобы угол между их ветвями был не больше 90 градусов.
- Расстроповка груза производится только после того, как он был установлен и надежно закреплен.

Сейчас повсеместно применяют механизированный способ монтажа технологического оборудования. Для этого используют:

- Канаты, для их изготовления используют проволоку различного диаметра. Они бывают одинарной, двойной и тройной свивки.
- Стропы, с их помощью подвешивают грузы. Изготавливают их канатов. Они бывают облегченные и универсальные.
- Траверса, самый простой представляет собой обычную горизонтальную балку. Благодаря ему распределяется равномерно усилие подъема на точки строповки. Более сложные варианты – это двух и трех лучевые траверса.
- Блоки, это колесо со специальным желобом по внешней окружности для размещения в нем каната.
- Полиспаг, устройство, состоящее из расчетного количества блоков, которые огибает канат.
- Лебедки.
- Домкраты, при помощи этих устройств, оборудование приподнимают на небольшую высоту.
- Порталы и мачты.
- Краны автомобильные, мостовые, башенные, гусеничные.
- Средства для малой механизации. Используется для: затяжки болтов, нарезки резьбы, развертки отверстий, зачистки сварных швов, резки металл, планировки мест фундаментных подкладок, резки труб, снятия фасок.

Третий – производства пусконаладочных работ

Это заключительный этап монтажа оборудования. Без него он не считается выполненным. На этом этапе становится ясно, насколько точно был произведен **монтаж**, соответствует ли он проектной документации. Так же проводятся работы по отладке установленного оборудования. Оно подготавливается к началу производственного процесса, проходит проверку на соответствие.

5.2. Описание способа монтажа

Монтаж сушильной башни производится в полностью собранном виде на открытой площадке. Доставка аппарата производится железнодорожным транспортом, а к месту монтажа на автотранспорте.

В дипломном проекте необходимо смонтировать сушильную башню.

Вес полностью собранного аппарата 51,3 т высота аппарата 21,3 м.

Аппарат устанавливается на раму высотой 4 метра. Строповка осуществляется за монтажные штуцера.

Монтаж осуществляется с помощью гусеничного крана.

5.3. Расчет траверсы

Монтаж оборудования проводится по ГОСТ 14114-85 [16]

Подобрать и рассчитать сечение балки траверсы, работавшей на сжатие для подъема сушильной башни массой:

$$G_0 := 51.3 \text{ т}$$

Выбираем однобалочную траверсу

Определяем натяжение в каждой канатной подвеске:

Угол наклона тяги к вертикали

$$\alpha_1 := 45 \text{ deg}$$

$$N_1 := \frac{10 \cdot G_0}{2 \cdot \cos(\alpha_1)}$$

$$N_1 = 362.746 \text{ кН}$$

Разрывное усилие

Коэффициент запаса прочности

$$k_{3a} := 6$$

$$R := \frac{(N_1 \cdot k_{3a})}{2}$$

$$R = 1.088 \times 10^3 \text{ кН}$$

По разрывному усилию подбираем стальной канат по первому приложению тип ЛК-РО конструкции 6х36(1+7+7/7+14)+1 [ГОСТ 7668-80] со следующими техническими характеристиками

Временное сопротивление разрыву 1764 МПа:

Разрывное усилие 1095 кН

Диаметр каната 44.5 мм

Масса 1000 м каната 1520 кг

Определяем сжимающее усилие в траверсе:

Коэффициент перегрузки $k_p := 1.1$

Коэффициент динамичности $k_d := 1.1$

$$N_{1t} := \frac{10 \cdot G_0 \cdot k_{\text{п}} \cdot k_{\text{д}}}{2} \quad N_{1t} = 310.365 \text{ кН}$$

Для изготовления траверсы выбираем стальную трубу.

Находим требуемую площадь поперечного сечения трубы:

Коэффициент продольного изгиба

$$\phi_0 := 0.4$$

$$m_1 := 0.85$$

Коэффициент условия работы

Расчетное сопротивление:

$$R_c := 210$$

$$F_T := \frac{N_{1t}}{\phi_0 \cdot m_1 \cdot 0.1 \cdot R_c}$$

$$F_T = 43.468 \text{ см}^2$$

По площади поперечного сечения подбираем трубу по ГОСТ 8732-78 со следующими характеристиками

Наружный диаметр 114 мм

Внутренний диаметр 82мм

Толщина стенки 16 мм

Момент инерции 607 см⁴

Площадь сечения 49,2 см²

Момент сопротивления 106 см³

Радиус инерции 3,51 см

Масса 1 м трубы 38,67 кг

Примем длину траверса

$$L_T := 600 \text{ см}$$

Масса траверса

$$G_T := L_T \cdot 10^{-2} \cdot 3.51$$

$$G_T = 21.06$$

$$G_T := 0.24 \text{ т}$$

$$\mu := 1$$

Коэффициент приведения расчетной длины

Расчетная длина траверса

$$L_p := L_T \cdot \mu$$

$$L_p = 600 \text{ см}$$

Определяем гибкость траверсы:

$$\text{Предельная гибкость } \lambda_{\text{п}} := 180$$

$$\text{Радиус инерции } r := 3.51 \text{ см}$$

Условие гибкости

$$\lambda < \lambda_{\text{п}}$$

$$\lambda := \frac{L_p}{r}$$

$$\lambda = 170.94$$

$$170.94 \leq 180$$

Условие выполняется

5.4. Расчет и подбор полиспаста для монтажа сушильной башни

Расчет и подбор полиспаста для монтажа сушильной башни проводим по литературе [16].

$$\text{Масса поднимаемого аппарата } G_0 := 51.3 \text{ т}$$

усилие на подвижной блок полиспаста при подъеме груза:

$$P_{\text{п}} := 10 \cdot G_0 + 10 \cdot G_T$$

$$P_{\text{п}} = 515.4 \text{ кН}$$

усилие, действующее на неподвижный блок полиспаста

$$P_{\text{н}} := 1.08 \cdot P_{\text{п}}$$

$$P_{\text{н}} = 556.632 \text{ кН}$$

Подбираем два блока по наибольшему усилию со следующими характеристиками:

тип БМ-63

грузоподъемность, T – 63

количество роликов $n := 2$

диаметр роликов 630мм

диаметр каната (максимальный) 43.5мм

масса блока 405кг

определяем усилие сбегающей ветви:

общее количество роликов в полиспасте $m := 2$

КПД полиспаста $\eta := 0.940$

$$S := \frac{P_{\text{п}}}{m \cdot \eta}$$

$$S = 274.149 \text{ кН}$$

Разрывное усилие в сбегающей ветви полиспаста

Коэффициент запаса прочности таб.(11) примем $k_3 := 5$

$$\text{тогда: } R_k := k_3 \cdot S \quad R_k = 1.371 \times 10^3 \text{ кН}$$

По разрывному усилию подбираем канат по первому приложению тип ЛК-РО конструкции 6х36(1+7+7/7+14)+1 (ГОСТ 7668-80) со следующими техническими характеристиками

Временное сопротивление к разрыву 1666кН

Разрывное усилие 1540 мм

Масса 1000 м каната 11150 кг

Диаметр каната 53.5 мм

Длина каната для оснастки полиспаста:

Высота подъема аппарата $h := 4 \text{ м}$

Диаметр роликов в блоке $d_{\text{р}} := 0.63 \text{ м}$

Длина сбегающей ветви от ролика блока до барабана $l_1 := 50 \text{ м}$

Расчетный запас длины каната $l_2 := 10 \text{ м}$

Количество роликов $n := 2$

Получена длина каната для оснастки полиспаста:

$$\underline{L} := n \cdot (h + \pi \cdot d_p) + l_1 + l_2$$

$$L = 71.958 \text{ м}$$

Масса каната

$$\text{Масса 1000 м каната } q_k := 11150 \text{ кг } G_k := \frac{L \cdot q_k}{1000} \quad G_k = 802.336 \text{ кг}$$

$$\text{Масса двух блоков } G_b := 810 \text{ кг}$$

Суммарная масса полиспаста

$$G_{\text{п}} := G_k + G_b \quad G_{\text{п}} = 1.612 \times 10^3 \text{ кг } \underline{G_{\text{п}}} := 1.612 \text{ т}$$

Определяем усилие, действующее на канат, закрепляющий неподвижный блок

$$P_b := 10 \cdot G_0 + 10 \cdot G_{\text{п}} + S + 10 \cdot G_{\text{т}}$$

$$P_b = 805.669 \text{ кН}$$

Приняв канат для крепления верхнего блока полиспаста из 8 ветвей и, определив коэффициента запаса прочности $k_3=4$ как для стропа, подсчитываем разрывное усилие в каждой ветви крепящего каната

$$\underline{R_k} := \frac{P_b \cdot k_3}{8} = 503.543 \text{ кН}$$

По разрывному усилию подбираем стальной канат по первому приложению типа ЛК-РО конструкции 6х36(1+7+7/7+14) о.с ГОСТ 7668-80 со следующими техническими характеристиками:

временное сопротивление разрыву 1666 МПа:

разрывное усилие 505кН

диаметр каната 31.0мм

масса 1000м каната 3655кг

5.5. Расчет витого канатного стропа

Расчет витого канатного стропа проводим по литературе [16].

Масса поднимаемого аппарата $G_0 = 51.3$ т

Разрывное усилие приложенное к стропу без учета коэффициента перегрузки и динамичности

ускорение свободного падение

$$g := 10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$$

$$P := G_0 \cdot g$$

$$P = 513 \text{ кН}$$

Натяжение S1 в одном канатном витке стропа

Количество ветвей стропа $m = 2$

Число канатных витков в сечении одной ветви стропа $n_1 := 19$

Угол между ветвью стропа и направляющим усилием $\alpha := 20$

$$S_1 := \frac{P}{2 \cdot m \cdot n_1 \cdot \cos(\alpha)}$$

$$S_1 = 16.541 \text{ кН}$$

Разрывное усилие в одном канатном витке стропа при коэффициенте запаса прочности $k_3 = 5$

$$R_{k1} := S_1 \cdot k_3 \quad R_{k1} = 82.704 \text{ кН}$$

По разрывному усилию подбираем стальной канат по первому приложению тип ЛК-РО конструкции 6х36(1+6+6/6)+1 о.с ГОСТ 2688-80 со следующими техническими характеристиками

временное сопротивление разрыву 1666 МПа:

разрывное усилие 96.3 кН

диаметр каната 13,5 мм

масса 1000м каната 697 кг

Минимальный диаметр захватного устройства

$$k_c := 4$$

$$d1 := 13.5 \text{ мм}$$

$$dc := 5 \cdot d1$$

$$dc = 67.5 \text{ мм}$$

$$D3 := kc \cdot dc$$

$$D3 = 270 \text{ мм}$$

Длина каната

Требуемая длина стропа

$$lk := 5000 \text{ мм}$$

Шаг свивки

$$t := 30 \cdot d1$$

$$Lk := 2.2 \cdot n1 \cdot lk + 2 \cdot t$$

$$Lk = 2.098 \times 10^5 \text{ мм}$$

Подбираем стандартный гусеничный кран марки СКГ-63 с технической характеристикой:

грузоподъёмность 63 т

грузовой момент 3150 кН*м

высота подъема 15-52 м

вылет крюка 5-26-мдлина стрелы 15-40 м

скорость подъема (опускания) груза м/мин 0,7-22,1

6. Автоматизация производства.

6.1. Назначения системы:

Автоматизированная система управления технологическим процессом (АСУТП) предназначена для непрерывного контроля и управления технологическими процессами сернокислотного цеха.

Основные функции системы:

Непрерывный контроль параметров технологического оборудования и управления технологическим процессом.

- автоматическое управление основным технологическими параметрами
- автоматические защитные блокировки
- автоматическое управление регулирующими и запорными клапанами
- автоматический пуск, останов и частотное регулирование электроприводов основного технологического оборудования
- дистанционное управления основными технологическими параметрами, а автоматизированного рабочего места (АРМ)
- представление информации на видеотерминалах АРМ оператора
- ведение архивов истории технологического процесса
- контроль отклонение от норм технологического регламента

6.2. Краткая характеристика объекта управления.

Основные решения по техническому обеспечению АСУТП приведены на схемах автоматизации.

Состав комплекса технических средств (КТС) АСУТП

- АРМ операторов
- АРМ инженер – технолога
- системный сервер
- управляющий контролер
- модули ввода и вывода

КТС АСУТП СКП построен на базе контроллера Simatic S7-416 Н фирмы Siemens.

Управление и контроль параметров средств, регулирующих и запорных клапанов с пневмоприводами осуществляется токовыми сигналами 4.....20 мА и дискретными сигналами.

Управления и состояния регулирующих клапанов с электроприводом “Automatic” осуществляется по протоколу Profibus.

6.3. Анализ сушильного отделения с точки зрения автоматизации и описание схемы автоматизации

Технологический газ с расходом 208440 нм³/ч поступает в насадочную сушильную башню при температуре 32 С из отделения очистки газа.

Осушка газа производится за счет, развитой в сушильной башне поверхности массообмена, создаваемой двумя слоями насадки обеспечивающей оптимальное распределение кислоты и газа.

Количество подаваемой серной кислоты на орошения сушильной башни составляет 900 нм³/ч определяемое электромагнитным расходомером.

На трубопроводе ввода серной кислоты на орошение сушильной башни имеется прибор для замера ее концентрации. На трубопроводе выхода серной кислоты из донной части сушильной башни предусмотрена установка фильтра.

Так как процесс поглощения влаги серной кислоты является экзотермическим, для охлаждения циркуляционной серной кислоты от температуры 70 С до 60С предусматривается холодильник кислоты.

Перепад температур охлаждающей оборотной воды составляет 7 С. С целью недопущения перегрева оборотной воды между подающим и возвратным коллекторам установлена байпасная линия Ду 500 с запорной арматурой.

Отработанный технологический газ, после абсорбционной башни направляется в количестве 187739 нм³/ч на существующую выхлопную трубу для выброса в атмосферу. Для слива конденсата от выхлопной трубы предусмотрена два дренажных трубопроводов.

6.4. Анализ контактного отделения с точки зрения автоматизации и описание схемы автоматизации

Очищенный и сушеный газ после сушильной башни с расходом 208612 нм³/ч

Поступает на всас основной газодувки.

Основная газодувка SO₂ размещается на шумопоглощающем кожухе. Данная газодувка по производительностью и приросту давления соответствует режиму работы производства серной кислоты.

Для охлаждения основной газодувки SO₂ используется обратная вода в количестве 517л/мин.

После повышения давления технологический газ направляется на подогрев от температуры 112 С до температуры 430 С к выносным теплообменным аппаратами далее поступает первый слой конвертора.

На четвертым слое конвертора достигаемый результат эффективности конверсии составляет 98. Газ покидает четвертый слой катализатора с температурой 421 С, затем охлаждается в трубном пространстве теплообменника до температуры 182 С и направляется на абсорбцию.

Охлаждения технологического газа в теплообменном аппарате осуществляется за счет подачи в межтрубное пространство холодного воздуха посредством охладительной воздуходувки.

Что бы контролировать процессом, на трубопроводе входа и выхода технологического газа в теплообменнике установлены датчики давления и температуры.

Предел измерения до 1 МПа и до 500 С.

Для поддержания требуемых нормативных параметров сернокислотного производства и регулирования температурного режима контактного узла предусматриваются байпасные линии. Работа байпаса регулируется автоматически датчиками и приборами КИПиА посредством управления соответствующей запорной арматурой.

№ п./п	Наименования и характеристика прибора	Норма тех. параметра	Наименования параметра	Тип модель прибора	Кол-во
Сушильная башня					
1	Преобразователь давления. Диапазон измерения 0...100 кПа.	24,4 кПа	Давление	Siemens	4
2	Перепад давления Диапазон измерения 0...100 кПа.	27.4 кПа	Давление	Siemens	4
3	Термопара. Диапазон измерения 0...200°С. /	112°С	температура	Schramm	2
4	Газоанализатор Количество и состав газа Мг/м3	Мг/м3	Газоанализ	Schramm	1
5	Термопреобразователь. Диапазон измерения 0...200°С. /	112°С	температура	Schramm	2

п./п	Наименования и характеристика прибора	Норма тех. параметра	Наименования параметра	Тип модель прибора	Кол-во
Теплообменный аппарат					
1	Термопара. Температура Диапазон измерения 0...500°С. /	85С	Температура	Siemens	3
2	Регулирующий клапан с электроприводом, температуры			Fackert	1
3	Инфракрасный анализатор газа. Диапазон измерения 0...15%. /	6,71%	анализатор газа	Sick	1
4	Преобразователь давления. Диапазон измерения 0...100 кПа. /	16,0 кПа	Давление	Siemens	1
5	Преобразователь давления. Диапазон измерения - 20...0 кПа. /	5,9 кПа	Давление	Siemens	1
6	Термогильза.	Длина 939 мм. Материал 1.0037. /		Siemens	1
7	Термопреобразователь. Диапазон измерения 0...400°С. /	182°С	Температура	Siemens	2

7. Финансовый менеджмент. Ресурсоэффективность и ресурсосбережение.

7.1. Расчет производственной мощности предприятия

Под производственной мощностью химического предприятия понимается максимально возможный годовой выпуск продукции в номенклатуре и ассортименте:

$$M = P_{\text{час}} * T_{\text{эф}} * K_{\text{об.}}, \quad M = 22730 * 8000 * 1 = 181840000 \text{ кг/год}$$

где $P_{\text{час}}$ - часовая производительность оборудования в натуральных единицах;

$T_{\text{эф}}$ - эффективный фонд времени работы оборудования;

$K_{\text{об}}$ - количество однотипного оборудования.

Эффективный фонд времени оборудования:

$$T_{\text{эфф}} = T_{\text{ном}} - T_{\text{ппр}} - T_{\text{то}} \quad T_{\text{эфф}} = 365 - 31,6 - 0 = 333,4$$

где $T_{\text{ном}}$ - номинальный фонд работы оборудования;

$T_{\text{ппр}}$ - время простоя в ремонтах за расчетный период;

$T_{\text{то}}$ - время технологических остановок.

$$T_{\text{ном}} = T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}} \quad T_{\text{ном}} = 365 - 0 - 0 = 365$$

где $T_{\text{вых}}$ - количество выходных дней в году;

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

Таблица 1 – Баланс рабочего времени оборудования

Показатели	Количество дней (часов)
Календарный фонд времени	365 (8760)
Режимные потери рабочего времени	
• выходные	0(0)
• праздники	0(0)
Номинальный фонд рабочего времени	365(8760)
Простой оборудования в ремонтах	31,6 (760)
Эффективное время работы оборудования	333(8000)

Для анализа использования оборудования рассчитываем экстенсивный и интенсивный коэффициенты.

Коэффициент экстенсивного использования оборудования находим по формуле:

$$K_{\text{экс}} = T_{\text{эф}} / T_{\text{н}}$$

$$K_{\text{экс}} = 8000/8760 = 0,913$$

Коэффициент экстенсивного использования оборудования:

$$K_{\text{инт}} = Q_{\text{пп}}/Q_{\text{max}}$$

$$K_{\text{инт}} = 70956,1/81599,51 = 0,869$$

$Q_{\text{пп}}$ – производительность единицы оборудования в единицу времени;

Q_{max} – максимальная производительность в единицу времени.

Интегральный коэффициент использования мощности:

$$K_{\text{им}} = K_{\text{экс}} * K_{\text{инт}} = 0,913 * 0,869 = 0,793$$

Для определения фактического выпуска продукции рассчитывается производственная программа ($N_{\text{год}}$):

$$N_{\text{год}} = K_{\text{им}} * M$$

$$N_{\text{год}} = 0,793 * 181840000 = 144199,120 \text{ т}$$

7.2. Расчет себестоимости готовой продукции по действующему производству

Расчет годового фонда заработной платы цехового персонала

1. Расчет численности персонала

Таблица 2 – Расчет численности персонала

Наименование должности	Категория	Тарифный разряд	Число штатных единиц	Количество смен в сутках
Главный технолог	ИТР	Высшее	1	1
Механик установки	ИТР	Высшее	1	1
Энергетик установки	ИТР	Высшее	1	1
Инженер КИП и АСУ	ИТР	Высшее	1	1
Итого:			4	
Старший оператор	Производственный рабочий	6 разр.	4	3

Оператор установки	Производственный рабочий	5 разр.	9	3
Помощник оператора	Вспомогательный персонал	4 разр.	4	3
Итого:			17	
Дежурный слесарь по ремонту оборудования	Ремонтный персонал	4 разр.	4	3
Дежурный слесарь-электрик	Ремонтный персонал	4 разр.	4	3
Дежурный слесарь КИП	Ремонтный персонал	4 разр.	4	3
Итого:			12	
Итого:			33	

Таблица 3 – Баланс эффективного годового времени одного среднесписочного работника

№	Показатели	Дни	Часы
1	Календарный фонд рабочего времени	365	8760
2	Нерабочие дни		
	Выходные	104	832
	Праздники	12	96
3	Номинальный фонд рабочего времени	249	7832
4	Планируемые невыходы		
	• очередные и дополнительные отпуска	28	224
	• невыходы по болезни	14	112
	• декретные отпуска	0	0
	• отпуск в связи с учебой без отрыва от производства	0	0
	• выполнение гос. обязанностей	0	0
5	Эффективный фонд рабочего времени	207	7496

Количество выходных дней в году, ночных смен определяется из графика сменности (пример графика сменности представлен в табл. 4).

Таблица 4 – График сменности

Номер смены	Часы работы	Дни месяца														
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	09:00-17:00	А	А	А	Г	Г	Г	В	В	В	Б	Б	Б	А	А	А
2	17:00-01:00	Б	Б	Б	А	А	А	Г	Г	Г	В	В	В	Б	Б	Б
3	01:00-09:00	В	В	В	Б	Б	Б	А	А	А	Г	Г	Г	В	В	В
Отдых		Г	Г	Г	В	В	В	Б	Б	Б	А	А	А	Г	Г	Г

Расчет годового фонда зарплаты ИТР, служащих иМОП производится на основании их окладов согласно штатному расписанию.

Общий фонд заработной платы рабочих за год:

$$З_{год} = З_{осн} + З_{доп}$$

Производственных рабочих:

$$З_{год} = 53418,57 + 10838,09 = 64256,66 \text{ тыс. руб.}$$

ИТР:

$$З_{год} = 86194,03 + 17487,91 = 103681,94 \text{ тыс. руб.}$$

Вспомогательного персонала:

$$З_{год} = 263833,41 + 315348,25 = 317362,57 \text{ тыс. руб.}$$

Ремонтного персонала:

$$З_{год} = 134578,58 + 27304,65 = 161883,23 \text{ тыс. руб.}$$

где $З_{осн}$ – основной фонд заработной платы рабочих, тыс. руб;

$З_{доп}$ – дополнительный фонд заработной платы рабочих, тыс. руб.

Основной фонд заработной платы для рабочих повременщиков:

$$З_{осн} = З_{тар} + Пр + Д_{н.вр.} + Д_{пр.дни} + Д_{бриг.}$$

Производственных рабочих:

$$З_{осн} = 53418,57 \text{ тыс. руб.}$$

ИТР:

$$З_{осн} = 103681,4 \text{ тыс. руб.}$$

Вспомогательного персонала:

$$Z_{\text{осн}} = 317362,57 \text{ тыс. руб.}$$

Ремонтного персонала:

$$Z_{\text{осн}} = 134578,58 \text{ тыс. руб.}$$

где $Z_{\text{тар}}$ – тарифный фонд заработной платы, тыс. руб;

Pr – оплата премий (50%), тыс. руб.;

$D_{\text{н.вр.}}$ – доплата за работу в ночное время (50%), тыс. руб.;

$D_{\text{пр.дни}}$ – оплата за работу в праздничные дни (20%), тыс. руб.;

$D_{\text{бриг}}$ – доплата не освобожденным бригадирам, тыс. руб.

Тарифный фонд заработной платы:

$$Z_{\text{тар}} = \sum Ч_{\text{сп}} * T_{\text{ст}} * T_{\text{эф.раб}}$$

Производственных рабочих:

$$Z_{\text{тар}} = 24281,17 \text{ тыс. руб.,}$$

ИТР:

$$Z_{\text{тар}} = 47128,15 \text{ тыс. руб.,}$$

Вспомогательного персонала:

$$Z_{\text{тар}} = 144255,71 \text{ тыс. руб.,}$$

Ремонтного персонала:

$$Z_{\text{тар}} = 61172,08 \text{ тыс. руб.}$$

где $Ч_{\text{сп}}$ – списочная численность рабочих данного разряда, чел.;

$T_{\text{сп}}$ – дневная тарифная ставка данного разряда, тыс. руб.

Размер премий принимаем равным 20-70% от тарифного фонда заработной платы.

По отношению к тарифному фонду заработной платы доплата за праздничные дни составит 40%.

Дополнительная зарплата:

$$Z_{\text{доп}} = (D_{\text{н}} * Z_{\text{осн}}) / T_{\text{эфф}}$$

Производственных рабочих:

$$Z_{\text{доп}} = (42 * 53418,57) / 333 = 10838,09 \text{ тыс. руб.,}$$

ИТР:

$$Z_{\text{доп}} = (42 * 1013681,94) / 333 = 17387,91 \text{ тыс. руб.},$$

Вспомогательного персонала:

$$Z_{\text{доп}} = (42 * 317362,57) / 333 = 315348,25 \text{ тыс. руб.},$$

Ремонтного персонала:

$$Z_{\text{доп}} = (42 * 134578,58) / 333 = 57304,65 \text{ тыс. руб.}$$

где D_n – количество дней невыхода на работу по планируемым причинам (отпуск, учеба)

Районный коэффициент для Узбекистана, г. Алмалык– 1,6

7.3. Расчет затрат на производство продукции

Расчет годовой потребности в сырье и материалах

Определение затрат на сырье и материалы производим исходя из принятого объема производства, удельных норм расхода сырья и планово-заготовительных цен.

Таблица 5 – Расчет годовой потребности в сырье и материалах

Наименование сырья	Ед.изм.	Цена, тыс. руб.	Расход, т		Затраты, тыс. руб.	
			На единицу готовой продукции	На весь объем производства	На единицу готовой продукции	На весь объем производства
Серная кислота товарная	т	17,5		181840		3182200

Расчет амортизационных отчислений

Таблица 6 – Расчет амортизационных отчислений

Наименование основных средств	Стоимость, тыс. руб.	Норма амортизации, %	Годовые амортизационные отчисления, тыс. руб
1.Здания			
1.1.АБК	3500	5	175
1.2.Операторная	7000	5	350
Итого:			525
2. Оборудование			
2.1.Нагнетатель сборный	180000	10	18000
2.2.Фильтр- брызгоулавливатель	10000	10	1000
2.3. Теплообменник	9000	10	900
2.4.Аппарат контактный	900	10	90
2.5.Пусковой подогреватель	900	10	90
2.6 Рукавный фильтр	900	10	90
2.7.Насос центробежный	900	10	90
2.8. Вентилятор сборный	350	10	35
2.9. Таль электрическая	350	10	35
2.10. Кран мостовой	3000	10	300
2.11. Топка	150	10	15
Итого:	206450		20645
Итого:	211700		21170

Таблица 7 – Калькуляция себестоимости на производство и реализацию продукции при заданном объеме производства Q=144199 т

Статьи затрат	Ед.изм.	Затраты на единицу готовой продукции (на т)	Затраты на весь объем (за год)
1. Сырье	тыс. руб.	17,6928	2551284,07
2. Электроэнергия на технологические нужды	тыс. руб.	0,004	576,79
Итого условно -переменных издержек	тыс. руб	17,6968	2551284,07
3. Общепроизводственные накладные расходы;			
3.1. Расходы на содержание и эксплуатацию оборудования:			
• Амортизация оборудования	тыс. руб	0,1412	20366,09
• Ремонт оборудования	тыс. руб	0,01138	1640,98
3.2.Заработная плата ремонтного персонала	тыс. руб	0,8902	128365
• Отчисление на соц. нужды ремонтного персонала (30%)	тыс. руб.	0,26707	38511,22
3.3. Заработная плата ИТР	тыс. руб	0,5701	82207,84
• Отчисление на соц.нужды ИТР (27,1%)		0,17105	24665,23
3.4. Заработная плата производственных рабочих	тыс. руб	0,35336	50954,15
• Отчисление на соц.нужды производственных рабочих (30 %)		0,106	15285
3.4. Заработная плата вспомогательного персонала	тыс. руб	1,74528	251667,631
Отчисление на соц.нужды вспомогательного персонала (30%)		0,52358	75499,71
Итого условно-постоянных издержек	тыс. руб	4,7502	684974
Цеховая себестоимость	тыс. руб	22,25419	3209031,94
4. Управленческие расходы (3% от цеховой себестоимости)	тыс. руб	0,667	96180,73
Заводская себестоимость	тыс. руб	23,151	3338351
5. Коммерческие расходы (1% от заводской себестоимости)	тыс. руб	0,223	32156,37
Полная себестоимость	тыс. руб	23,583	3400645,017
Итого условно -переменных издержек	тыс. руб	17,6968	2551857,71
Итого условно-постоянных издержек	тыс. руб	5,8862	848787,3

7.4. Определение цены готовой продукции

Цену продукта определяем по формуле:

$$Ц = C * (1 + P/100)$$

$$Ц = 23,583 * (1 + 25/100) = 31,978 \text{ тыс. руб.}$$

где С – полная себестоимость единицы готовой продукции;

Р – рентабельность продукции (25%)

$$V_{\text{пр}} = 31,978 * 181840 = 5814879 \text{ тыс. руб.}$$

7.5. Анализ безубыточности по действующему производству

Цель анализа – определение **точки безубыточности**, т.е. минимального объема продаж, начиная с которого предприятие не несет убытков.

Определение точки безубыточности аналитическим способом:

$$Q_{\text{кр}} = \frac{\text{Изд}_{\text{пост}}}{Ц_{\text{лен}} - \text{Изд}_{\text{пер}}}$$

$$Q_{\text{кр}} = 848787,3 / (31,978 - 17,697) = 59434,7 \text{ тонн -}$$

Определение точки безубыточности графическим способом:

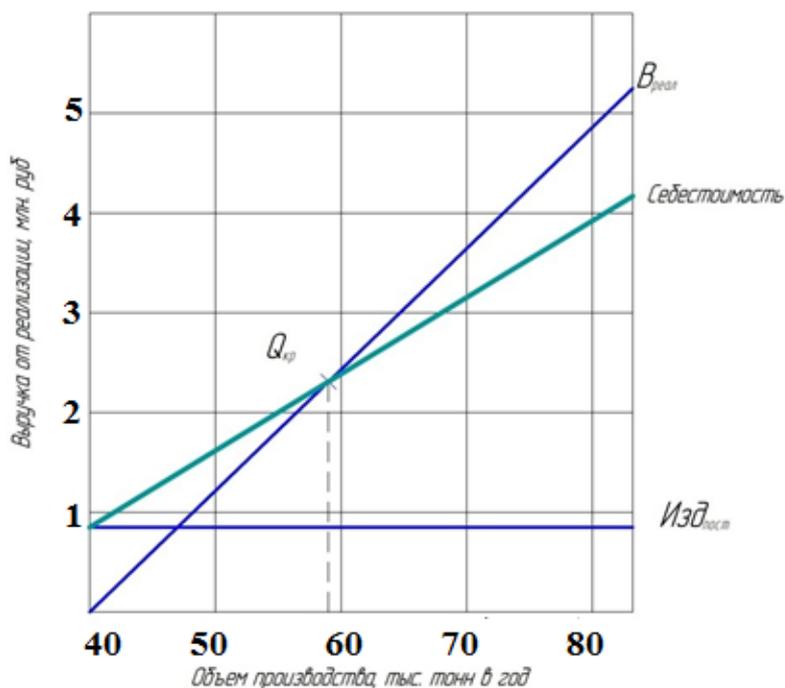


Рисунок 1 – График безубыточности действующего производства

7.6. Расчет производственной мощности на плановый период при увеличении объема производства на 10%

Таблица 8 – Расчет годовой потребности в сырье и материалах

Наименование сырья	Ед.изм.	Цена, тыс. руб.	Расход, т		Затраты, тыс. руб.	
			На единицу готовой продукции	На весь объем производства	На единицу готовой продукции	На весь объем производства
Серная кислота товарная	т	17,5	1,0110831	200000	17,69282	3500000

7.7. Расчет себестоимости готового продукта в проектном году

Таблица 9 – Калькуляция себестоимости на производство и реализацию продукции при объеме производства, увеличенного на 20%: Q = 181840 т/год

Статьи затрат	Ед.изм.	Затраты на единицу готовой продукции (на т)	Затраты на весь объем (за год)
1. Сырье	тыс. руб.	17,69282	3217258,75
2. Электроэнергия на технологические нужды	тыс. руб.	0,00364	661,89
Итого условно -переменных издержек	тыс. руб	17,6968	3217986
3. Общепроизводственные накладные расходы;			
3.1. Расходы на содержание и эксплуатацию оборудования:			
• Амортизация оборудования	тыс. руб	0,10183	18516,76
• Ремонт оборудования	тыс. руб	0,010346	1881,31
3.2. Заработная плата ремонтного персонала	тыс. руб	0,809416	17184,2
• Отчисление на соц. нужды ремонтного персонала (30%)	тыс. руб.	0,242825	44155,29
3.3. Заработная плата ИТР	тыс. руб	0,518405	94274,94
• Отчисление на соц. нужды ИТР (30%)		0,155523	28280
3.4. Заработная плата производственных рабочих	тыс. руб	0,321283	58422,1
• Отчисление на соц. нужды производственных рабочих (27.1%)		0,096385	17526,64
3.4. Заработная плата	тыс. руб	1,586813	288546

Статьи затрат	Ед.изм.	Затраты на единицу готовой продукции (на т)	Затраты на весь объем (за год)
вспомогательного персонала Отчисление на соц.нужды вспомогательного персонала (27,1%)		0,476044	86563,84
Итого условно-постоянных издержек	тыс. руб	4,3188	785330,592
Цеховая себестоимость	тыс. руб	21,23352	3861103,28
4. Управленческие расходы (3% от цеховой себестоимости)	тыс. руб	0,607021	110380,7
Заводская себестоимость	тыс. руб	22,14052	4026032
5. Коммерческие расходы (1% от заводской себестоимости)	тыс. руб	0,22405	40741,252
Полная себестоимость	тыс. руб	22,3646	4066778,86
Итого условно -переменных издержек	тыс. руб	17,6968	3217991,56
Итого условно-постоянных издержек	тыс. руб	4,6678	848787,3

7.8. Определение цены готовой продукции

Цену продукта определяем по формуле:

$$Ц = C * (1 + P/100)$$

$$Ц = 28,938 \text{ тыс. руб.}$$

где С – полная себестоимость единицы готовой продукции;

Р – рентабельность продукции (25%)

$$V_{пр} = 28,938 * 200000 = 5787600$$

7.9. Анализ безубыточности при увеличении производительности на 10%

Определение точки безубыточности

$$\text{Аналитический способ: } Q_{кр} = \frac{Изд_{пост}}{Ц_{12п} - Изд_{пер}}$$

$$Q_{кр} = 848787,3 / (31,978 - 17,697) = 59434,7 \text{ тонн}$$

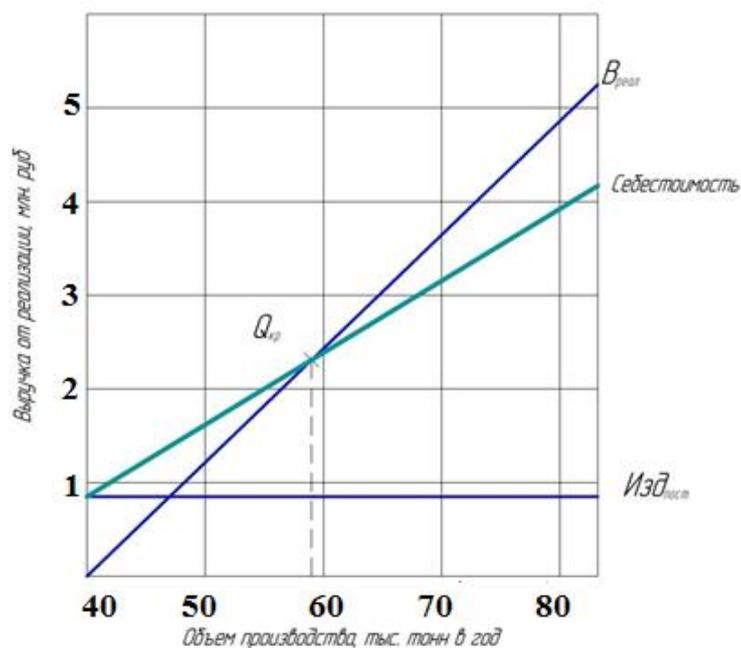


Рисунок 2 – График безубыточности производства при повышении загрузки на 10%

Из графика мы видим, что снижается себестоимость на единицу продукции, т.е. происходит «эффект масштаба».

Определение технико-экономических показателей

Таблица 10 – Техничко-экономические показатели

Наименование показателя	Ед.изм.	Отчетный год	Плановый год
1. Объем производства	т	144120	181840
2. Объем продаж	т	144120	181840
3. Цена 1 тонны	тыс. руб.	28,938	28,938
4. Выручка от продаж (2*3)	тыс. руб.	4170544,56	5262085,92
5. Суммарные издержки	тыс. руб.	3400645,017	4066778,86
5.1. Издержки переменные	тыс. руб.	2551857,71	3217991,56
5.2. Издержки постоянные	тыс. руб.	848787,3	848787,3
6. Операционная прибыль (4-5)	тыс. руб.	769899,55	1195307,06
7. Налог на прибыль (6*20%)	тыс. руб.	153979,91	239061,4
8. Чистая прибыль (6-7)	тыс. руб.	615919,64	956245,66
9. Себестоимость 1 тонны	тыс. руб.	23,583	22,364
10. Стоимость основных средств	тыс. руб.	211700	211700
11. Численность основных рабочих	чел.	33	33
12. Фондовооруженность (10/11)	тыс. руб./чел	6415,15	6415,15
13. Фондоотдача (4/10)	руб/руб.	24,85	27,34
14. Фондоемкость (10/4)	руб.руб.	0,0402	0,0365
15. Производительность труда (4/11)	тыс. руб./чел	126380,13	159457,149
16. Рентабельность производства (8*100%/5)	%	18,11	23,51
17. Рентабельность продаж (8*100%/4)	%	14,76	18,17
18. Критический объем продаж ($Q_{кр}$)	т	59434,7	59434,7
19. Критический объем продаж ($Q_{кр}$)	Тыс. руб.	856454	108052

Вывод:

В результате увеличения загрузки производственной мощности на 10% и, соответственно, использования «эффект масштаба», мы получили следующий экономический эффект:

- себестоимость 1 тонны продукции на плановый период уменьшится на 0,786 тысяч рублей относительно текущего периода;
- чистая прибыль на плановый период увеличится на 166171,25 тысяч рублей относительно текущего периода;
- фондоотдача увеличится на 2,49 относительно текущего периода;
- рентабельность производства планового периода увеличится на 2,10%;

8. Социальная ответственность

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
3-5001	Эшанкулов А.С.

Институт	ИнЭО	Кафедра	
Уровень образования	Специалист	Направление/специальность	МАХП

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	<i>Контактно-компрессорное отделение по переработке серной кислоты</i>
--	--

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Производственная безопасность 1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности: 1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности: —	На рабочем месте обнаружена следующие опасные и вредные факторы: Опасные: Наличие шума в рабочих помещениях. Токсичность диоксида серы и природного газа. Токсичность пыли ванадиевой контактной массы. Вредные Опасность поражения электрическим током. Опасность термических ожогов. Опасность взрыва и пожара.
2. Экологическая безопасность:	В результате деятельности производство по переработке серной кислоты оказывает воздействие на атмосферу в виде сернистого ангидрида, но до состояния атмосферы города до уровней ПДК в связи со строительством нового сернокислотного цеха; на литосферу оказывает воздействие в виде нарушения земель в связи с отработкой карьеров, шахт,

	<p>складирование пустых пород, забалансовых руд, хвостов переработки обогатительных фабрик, шлаков и клинкеров заводов, представляющих собой техногенные образования;на гидросферу оказывает воздействие в виде сбросов загрязняющих веществ в водоемы и на рельеф местности с карьерными и шахтными водами.</p>
<p>3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</p>	<p>Неполадки и аварийные состояния производства могут возникнуть при:- прекращение подача электроэнергии;</p> <p>- прекращение подачи сернистого газа из металлургического цеха;- прекращение подачи воды водооборотного цикла;- разрушение коммуникаций, аппаратуры, ёмкостей;</p> <p>- возникновение пожара, грозящего безопасности обслуживающего персонала, выводу из строя действующего оборудования.</p>
<p>4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</p>	<p>Правила работы с веществами, применяемыми в производстве, средства защиты работающих</p>

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Антоневич О.А.	к.б.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5001	Эшанкулов А.С		

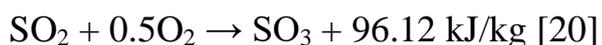
8.1. Введение

В данной дипломной работе производился расчет сушильной башни и теплообменный аппарат для подогрева газа SO_2 и охлаждения газа SO_3 . Основные размеры сконструированного теплообменного аппарата: высота – 25000 м, диаметр – 5580 м.

Процесс окисления диоксида серы до триоксида производится в пятислойном контактном аппарате (поз.306). в центре аппарата расположена опорная труба. По высоте аппарата слои разделены выпуклыми перегородками. Между корпусом и опорной трубой смонтированы радиальные балки, на которые укладываются колосниковые решетки. На колосниковых решетках натянута стальная сетка, на которую уложена контактная масса.

Снаружи контактный аппарат теплоизолирован минераловатными матами и алюминиевыми листами, с целью уменьшения потерь тепла в окружающую среду.

Окисление диоксида серы (SO_2) до триоксида (SO_3) происходит в присутствии ванадиевого катализатора по реакции:



8.2. Производственная безопасность

Таблица 1 Опасные и вредные факторы при выполнении работ по оценке технического состояния контактно-компрессорного отделения по ГОСТ 12.0.003-74

Источник фактора, наименование видов работ	Факторы (по ГОСТ 12.0.003-74)		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	
<p>1. Пуск и обслуживание топки</p> <p>2. работа с ванадиевой контактной</p> <p>3. Обеспечение на всех возможных режимах плотность аппаратов и коммуникаций.</p> <p>4. Установка и снятие заглушек на пожаро- и взрывоопасных линиях</p> <p>5. Управления работой и обеспечения нормальных условий эксплуатации сосудов, работающих под давлением</p>	<p>1. Наличие шума в рабочих помещениях.</p> <p>2. Токсичность диоксида серы и природного газа.</p> <p>3. Токсичность пыли ванадиевой контактной массы.</p>	<p>1. Опасность поражения электрическим током.</p> <p>2. Опасность термических ожогов.</p> <p>3. Опасность взрыва и пожара.</p>	<p>1. Параметры шума в рабочих помещениях устанавливаются СН 2.2.4/2.1.8.562-96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории застройки.</p> <p>2. Токсичность диоксида серы и природного газа устанавливается - РИ 0338.44.005/1 - 03 «Рабочая инструкция по отбору проб и определению сернистого ангидрида в технологическом газе сернокислотного цеха» - определение диоксида серы в газе.</p> <p>3. Опасность взрыва и пожара регулируется ВНТП 3-85, ПБ 08-624-03 «Общие Правила противопожарного режима в Российской Федерации».</p> <p>4. Опасность поражения электрическим током регулируется ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов.</p>

8.3. Химические факторы

Источники возникновения, воздействие на человека и предлагаемые средства защиты.

1. Токсичность диоксида серы (SO₂);

Источники возникновения; получение диоксида серы в результате сжигания в топке сероводородного газа в производстве серной кислоты. ; Токсичен, вызывает раздражение кожи, слизистых оболочек глаз, верхних дыхательных путей. Длительное вдыхание приводит к хроническим заболеваниям дыхательных путей, анемии, поражению печени.; **Средства защиты:** Фильтрующий промышленный противогаз с фильтром. Защитные маски для глаз, специальная одежда для защиты кожи.

2. Наличие шума в рабочих помещениях

Источники возникновения; Источниками шума на производстве является транспорт, технологическое оборудование, системы вентиляции, пневмо- и гидроагрегаты; Шум звукового диапазона замедляет реакцию человека на поступающие от технических устройств сигналы, это приводит к снижению внимания и увеличению ошибок при выполнении различных видов работ. Шум угнетает центральную нервную систему (ЦНС), вызывает изменения скорости дыхания и пульса, способствует нарушению обмена веществ, возникновению сердечно-сосудистых заболеваний, гипертонической болезни. **Средства защиты:** Изменение направленности излучения шума; рациональная планировка предприятий и производственных помещений, акустическая обработка помещений, применение звукоизоляции [26]

3. Токсичность пыли ванадиевой контактной массы

Источники возникновения. Токсичность пыли ванадиевой контактной массы; к смеси щелочного раствора пятиоксида ванадия и жидкого стекла добавляется хлористый калий, из расчета 4 моля хлористого калия на 1 моль

пятиокиси ванадия. Смешивание компонентов производится в барабанах, затем массу формуют и сушат обычным образом. Получается выброс токсичной пыли.; Ядовита, вызывает изменения в кроветворной системе и органах дыхания, конъюнктивы глаз, дермативы кожи.; **Средства защиты:** Защитные маски для органов дыхания, респираторы, спец одежда [26].

Характеристика вредных веществ

Наименование вещества. Свойства вещества. Воздействие на организм. ПДК mg/m^3 . Марка защитных средств. Первая помощь

1. Диоксид серы

(SO_2) Бесцветный газ с резким запахом.

Плотность при н.у. 2,93 kg/m^3 . В водных растворах имеет кислую реакцию. Токсичен, вызывает раздражение кожи, слизистых оболочек глаз, верхних дыхательных путей. Длительное вдыхание приводит к хроническим заболеваниям дыхательных путей, анемии, поражению печени. 10,0

Противогаз «БКФ», «М» Свежий воздух, промывание глаз, но-са, рта 5% раствором соды, тепло на область шеи, теплое молоко с содой. При сильном отравлении делать искусственное дыхание, немедленно вызвать врача.

2. Ванадиевая контактная масса Сыпучая масса в виде гранул, серовато-желтого цвета, на-сыпная масса 0,5÷1,0 kg/dm^3 Ядовита, вызывает изменения в кро-ветворной системе и органах дыхания, конъюнктивы глаз, дермативы кожи. 0,5 Респиратор РУ-60«Лепесток», очки, спецодежда

При отравлении пить молоко, обратиться к врачу.

8.4. Характеристика опасных факторов

1. Опасность поражения электрическим током

Поражать органы дыхания, пищеварения, систему кровообращения и нервную систему, а также вызывать воспалительные и аллергические заболевания кожи. направленные движение электрически заряженных частиц под воздействием электрического поля. Такими частицами могут являться: в проводниках – электроны, в электролитах – ионы (катионы и анионы), в полупроводниках – электроны и, так называемые, "дырки" ("электронно-дырочная проводимость"). судорожное сокращение мышц без потери сознания;

- судорожное сокращение мышц с потерей сознания, но с сохранившимся дыханием и работой сердца;
- потеря сознания и нарушение сердечной деятельности или дыхания (или того и другого);
- состояние клинической смерти.

Меры защиты:

- 1 мА недоступностью токоведущих частей;
- надежной, а в отдельных случаях повышенной (двойной) изоляцией;
- заземлением или занулением корпусов электрооборудования и элементов электроустановок, могущих оказаться под напряжением; надежным и быстродействующим автоматическим защитным отключением; [28]

2. Опасность термических ожогов

Возникают в результате воздействия высоких температур –,(контактный аппарат рабочая температура $t=470$ С) характерное повреждение тканей человеческого организма. Покраснение кожи, возникновение пузырей, повреждение слое эпидермиса 1-я степень повреждения.

Меры: Противоожоговые средства, мази, повязки (для защиты рабочего персонала от термических ожогов обеспечиваются резиновые перчатки, и лавсановая спецодежда)

3. Опасность взрыва и пожара взрывы

Резервуаров с горючими веществами и аварийно химически опасными веществами, обрушение элементов строительных конструкций, замыкание электрических сетей. открытое пламя, искра, электрические дуги, нагретые поверхности и др. Потеря видимости вследствие задымления, пониженная концентрация кислорода 0.000001 ОФП Электропроводку во избежание возникновения короткого замыкания, способного привести к пожару, изолируют.

Изолируют от влаги розетки, расположенные в санузлах и на внешних стенах.

Устанавливают УЗО и автоматические предохранители.

Теплоизолируют газовые и электрические плиты от деревянной мебели.

Для тушения окурков используют пепельницы, а свечи зажигают в подсвечниках. [32]

8.5. Экологическая безопасность

В результате деятельности производство по переработке серной кислоты оказывает воздействие на атмосферу в виде сернистого ангидрида, но до состояния атмосферы города до уровней ПДК в связи со строительством нового сернокислотного цеха;

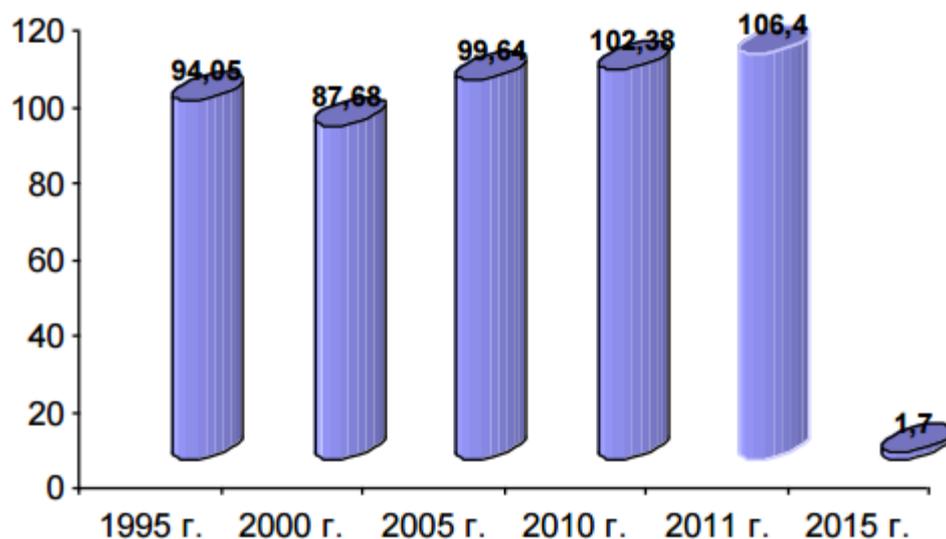


Рис. 1 Динамика выбросов сернистого ангидрида после строительства нового сернокислотного цеха и новой плавильной печи

на литосферу оказывает воздействие в виде нарушения земель в связи с отработкой карьеров, шахт, складирование пустых пород, забалансовых руд, хвостов переработки обогатительных фабрик, шлаков и клинкеров заводов, представляющих собой техногенные образования;

на гидросферу оказывает воздействие в виде сбросов загрязняющих веществ в водоемы и на рельеф местности с карьерными и шахтными водами.

В таблице 4 представлена экологическая безопасность производства согласно Технологический регламент «Производство серной кислоты СК-3» [20].

Таблица № 4

ХАРАКТЕРИСТИКА ОТХОДОВ ПРОИЗВОДСТВА, СТОЧНЫХ ВОД И ГАЗОВЫХ ВЫБРОСОВ

Наименование отходов	Краткая характеристика	Нормируемое кол-во	Массовая доля вредных примесей, %		Примечание
			Норма	Факт	
Кислые стоки: конденсат от электрофильтров, от промывки отходящих газов , оборудования.	Содержание, концентрация, g/dm ³ : H ₂ SO ₄ -серная кислота Cu - медь Fe - железо As - мышьяк Sb - сурьма Bi - висмут Mn - марганец Pb - свинец F - фтор Zn - цинк Re - рений	360m ³ /сутки	H ₂ SO ₄ Не более 40г/л	21,5 г/л	Выводится на очистные сооружения и нейтрализуется раствором карбонатных пород (известковым молоком).
			Cu 0.1 – 3.0 г/л	0,7 г/л	
			Fe 0.1 – 2,0 г/л	0,55 г/л	
			As 0,1 – 1,5 г/л	0,5 г/л	
			Sb 0,1 – 0,6 г/л	0,2 г/л	
			Bi -0,05 – 0,1 г/л	0,05 г/л	
			Mn 0,01 – 0,03 г/л	4,3 мг/л	
			Pb 1,0 – 20,2 мг/л	0,05 г/л	
			F - 0,01 – 2,0 г/л	0,6 г/л	
			Zn 0,1 – 1,5 г/л	0.03m	
			Re - 0,002 – 0,4 мг/л	г/л	

Наименование отходов	Краткая характеристика	Нормируемое кол-во	Массовая доля вредных примесей, %		Примечание
			Норма	Факт	
Шлам свинцово-висмутовый	Массовая доля: Pb - свинец Bi - висмут	2500÷5000 t/год	Pb - 40÷60% Bi - 0.1÷0.5%	46,1% 0,23%	Складировается на территории очистных сооружений
Выхлопные газы	SO ₂ - сернистый ангидрид SO ₃ - серный ангидрид	120000 м ³ /ч СК-3 60000 м ³ /ч СК-2	Массовая доля: в соответствии с технологической инструкцией SO ₂ не более 0,3% SO ₃ не более 0,0035 % В соответствии с томом ПДВ: SO ₂ - 25,725т/г. SO ₃ - 11,432 т/г.	0,40% 0,0065%	Выбрасываются через выхлопную трубу Н – 180 м в атмосферу.

Примечание: Контроль за отходами ведется лабораторией комбината (ЦЭАЛ) согласно графика, и цеховой лабораторией согласно режимных карт.

8.6. Безопасность в чрезвычайных ситуациях.

Правила аварийной остановки производства, возможные аварийные состояния производства, способы их предупреждения и устранения

Неполадки и аварийные состояния производства могут возникнуть при:

- прекращение подача электроэнергии;
- прекращение подачи сернистого газа из металлургического цеха;
- прекращение подачи воды водооборотного цикла;
- разрушение коммуникаций, аппаратуры, ёмкостей;
- возникновение пожара, грозящего безопасности обслуживающего персонала, выводу из строя действующего оборудования.

Во всех аварийных ситуациях обслуживающий персонал обязан действовать согласно «Плана локализации аварийных ситуаций» и инструкций по рабочим местам с незамедлительным уведомлением диспетчера завода и начальника цеха.

В таблице 5 изложены возможные причины, которые могут привести к возникновению аварийных ситуаций на сооружениях промышля, причины их возникновения и способы устранения. [20]

Если неполадки не приводят к расширению зоны аварийной ситуации, нарушению техники безопасности, то их необходимо устранять вахтовым персоналом. При необходимости временного изменения технологического режима решение принимает начальник смены, доложив об этом начальнику промышля.

Если возникшие неполадки вызывают повышенную опасность, то принимается решение к остановке техпроцесса до устранения неполадок.

Таблица 2 - Возможные виды аварийного состояния производства и способы их устранения

Контактно-компрессорное отделение			
1.	Резкое увеличение давления в системе контактирования	1.1 Закрытие одного из дросселей на газоходах контактного узла	1.1.1 Проверить положение дросселей и отрегулировать давление в системе .
2.	Увеличение сопротивления слоев контактной массы в контактном аппарате.	2.1 Засорение контактной массы, механическое разрушение, спекание	2.1.1 Во время капитального ремонта контактную массу просеять, дополнить новой или заменить полностью.
3.	Повышение температуры на выходе из 1-го слоя контактного аппарата выше 600°C	3.1 Повышение температуры газа перед контактным аппаратом. 3.2 Повышение объемной доли SO ₂ в газе перед контактным аппаратом 3.3 Снижение нагрузки по газу на контактный аппарат.	3.1.1 Отрегулировать температуру газа перед контактным аппаратом. 3.2.1 Отрегулировать объемную долю SO ₂ в газе дросселированием воздуха перед отдувочной башней. 3.3.1 Проверить работу нагнетателя и отрегулировать нагрузку по газу.
4.	Понижение температуры газа на выходе из 1-го слоя контактного аппарата ниже 550°C	4.1 Понижение температуры газа перед контактным аппаратом. 4.2 Понижение объемной доли SO ₂ в газе перед контактным аппаратом 4.3 Повышение нагрузки по газу на контактный аппарат.	4.1.1 Отрегулировать температуру газа перед контактным аппаратом. 4.1.2 При необходимости запустить в работу пусковую установку 4.2.1 Отрегулировать объемную долю SO ₂ в газе дросселированием воздуха перед отдувочной башней. 4.3.1 Проверить работу нагнетателя и отрегулировать нагрузку по газу.

5.	Высокая температура газа на вы-ходе из 2-го слоя контактного аппарата выше 550°C	5.1 Повышение температуры газа на входе во 2-ой слой. 5.2 Снижение степени контактирования, активно сти катализатора 1-го слоя.	5.1.1 Проверить работу теплообменника поз.305 и отрегулировать температуру. 5.2.1 Подобрать оптимальный температурный режим для данных условий. 5.2.2 Во время капитального ремонта контактную массу просеять, дополнить новой или заменить полностью на 1-м слое.
6.	Повышение температуры вкладышей подшипников выше 60°C	6.1 Повышение температуры масла, подаваемого во вкладыши. 6.2 Падение давления масла в системе. 6.3 Повышение температуры воды, охлаждающей масло. 6.4 Нарушение рабочего режима нагнетателя. 6.5 Загрязнение смазочного масла. 6.6 Накопление грязи в муфте и её заклинивание.	6.1.1 Увеличить расход воды в маслоохладитель. 6.1.2 Проверить загрязненность пучков маслоохладителя, провести очистку. 6.2.1 Проверить и отрегулировать работу редукционного клапана. 6.3.1 Увеличить расход воды в маслоохладитель. 6.3.2 Связаться с аппаратчиком водооборотного цикла. 6.4.1 Отрегулировать рабочий режим нагнетателя в соответствии с пас портными характеристиками. 6.5.1 Произвести анализ масла, при необходимости заменить. 6.5.2 Произвести очистку фильтров. 6.6.1 Остановить нагнетатель, перейти на резервный агрегат. 6.6.2 Очистить муфту от грязи и проверить поступление масла.
7.	Помпаж	7.1 Закрытие дроссельной заслонки на всасывающем газоходе или самопроизвольное закрытие задвижек на газоходе	7.1.1 Открыть полностью дроссельную задвижку, при необходимости агрегат остановить. 7.1.2 Устранить причины отказа в работе запорной арматуры.

8.7. Пожарная безопасность

Пожарная безопасность объекта обеспечивается рядом противопожарных мероприятий, предусмотренных в соответствии с Федеральным законом Российской Федерации от 22 июля 2008 г. N 123-ФЗ "Технический регламент о требованиях пожарной безопасности" [21]

Работники, обслуживающие промысел, обязаны пройти противопожарный инструктаж и занятия по пожарно-техническому минимуму.

При работе на взрыво- пожароопасном производстве безопасность работающего персонала должна обеспечиваться:

- конструктивно-планировочным решением помещений, гарантирующим возможность осуществления быстрой эвакуации людей и ограничивающим распространение пожара;
- постоянным содержанием в надлежащем состоянии специального оборудования, способствующего успешной эвакуации людей в случае пожара (системы экстренного оповещения, аварийное освещение, знаки безопасности);
- ознакомлением всех работающих с основными требованиями пожарной безопасности и мерами личной предосторожности, которые необходимо соблюдать при возникновении пожара, а также планом эвакуации людей из помещения;
- установлением со стороны администрации систематического контроля за строжайшим соблюдением мер предосторожности при ремонтных работах, эксплуатации электроприборов, электроустановок и отопительных систем.

Для локализации и ликвидации пожара должны использоваться стационарные средства пожаротушения.

Размещение оборудования противопожарного водоснабжения и пожаротушения на площадке цеха выполнено согласно требованиям Федерального закона № 384-ФЗ от 30.12.2009, Федерального закона № 123-ФЗ от 22.07.2008, с учетом ГОСТ 31385-2008.

Расстановка противопожарных резервуаров $V=700 \text{ м}^3$ (2 шт.), водозаборного колодца на водопроводной сети, блок-боксапожаринвентаря и мотопомп, первичных средств пожаротушения обеспечивает пожаротушение любого обслуживаемого здания, сооружения, Энергоблока.

На объекте предусмотрено применение оборудования пенного и порошкового пожаротушения, а также первичных средств пожаротушения.

Противопожарное водоснабжение

Противопожарное водоснабжение цеха включает в себя два РВС $V=700 \text{ м}^3$ с тупиковым водопроводом ($d=219 \times 6 \text{ мм}$, $L=43 \text{ м}$) и водозаборным колодцем.

Запроектированные резервуары противопожарного запаса воды $V=700 \text{ м}^3$ удовлетворяют потребность в запасе воды. Радиус обслуживания резервуарами – 150 м. Для увеличения радиуса обслуживания резервуарами предусмотрен тупиковый трубопровод длиной 43 м и диаметром 219 мм для заполнения водозаборного колодца. Контроль не снижаемого противопожарного уровня запаса воды осуществляется датчиками уровня. При снижении уровня воды в резервуарах до нижнего на артезианских скважинах, расположенных на площадке водозабора, запускаются погружные электронасосы агрегаты ЭЦВ6-6,3-85. [32]

Пенное пожаротушение

Для пожаротушения резервуаров РВС $V=400 \text{ м}^3$ предусматривается установка парогенераторов ГПСС-600, подключаемых по сухотрубной системе пожарными рукавами к передвижным средствам пожаротушения.

Пожаротушение осуществляется передвижной пожарной техникой. Для этих целей предусмотрены мотопомпы типа «Гейзер-1600» $Q=20 \text{ л/сек}$, $H=190 \text{ м}$. Мотопомпы укомплектованы установками комбинированного тушения пожара УКТП «Пурга-10.10.20» (производительностью 20 л/сек, дальность подачи струи – 35 м).

Первичные средства пожаротушения, немеханизированный пожарный инструмент и инвентарь

К первичным средствам пожаротушения относятся:

- огнетушители, песок (в ящике), вода (объемом $0,2 \text{ м}^3$ и/или $0,02 \text{ м}^3$);

- асбестовое полотно, грубошерстная ткань или войлок (кошма, покрывало из негорючего материала).

К немеханизированному пожарному инструменту и инвентарю относятся:

- комплект для резки электропроводов (ножницы, диэлектрические боты);
- лом, багор, крюк с деревянной ручкой, ведро, лопаты.

Определение необходимого количества первичных средств пожаротушения для защиты зданий и сооружений выполнено по Приложению 6 Правил противопожарного режима в Российской Федерации, с учетом данных Приложений А и Б СП 9.13130.2009 «Техника пожарная. Огнетушители. Требования к эксплуатации». [23]

8.8. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.

Правила работы с веществами, применяемыми в производстве, средства защиты работающих

Газо-, взрыво- и пожароопасность, опасность термических и химических ожогов, отравлений в производстве серной кислоты определяется наличием горячих газов (диоксида и триоксида серы), серной кислоты, ванадиевой контактной массы, возможностью образования взрывоопасных концентраций природного газа, водорода. [30]

При работе с этими веществами необходимо соблюдать следующие меры предосторожности:

1. Постоянно иметь при себе фильтрующий противогаз марки «БКФ» или «В», которыми пользоваться во всех случаях загазованности и при работе, где возможны выделения вредных газов и жидкостей.

2. На рабочем месте находиться только в спецодежде: суконный костюм, резиновые сапоги, суконные рукавицы, резиновые перчатки, респиратор, защитные очки в соответствии с нормами.

3. Поддерживать в герметичном состоянии все фланцевые соединения на аппаратах и трубопроводах, пропуски газов и жидкостей немедленно устранять.

4. Работа над баками, резервуарами, сборниками, наполненными серной кислотой, производится только при наличии на них надежных крышек, предохраняющих от попадания каких-либо предметов в кислоту.

5. Вся тара, предназначенная для серной кислоты, должна быть чисто вымыта, пропарена, просушена.

6. При смешении серной кислоты с водой в открытых сосудах нужно кислоту лить в воду, а не наоборот, во избежание разбрызгивания кислоты.

7. Перед ремонтом аппараты и трубопроводы должны быть нейтрализованы, промыты и продуты.

8. При отборе проб необходимо надевать резиновые перчатки и защитные очки, пользоваться для отбора проб специальными пробоотборниками.

9. Осмотр кислотопроводов, а также аппаратов и ёмкостей с кислотой необходимо выполнять в защитных очках и резиновых перчатках.

10. Проливы кислот должна быть немедленно нейтрализованы известью или содой, насухо подсушены опилками, после чего все нужно убрать лопатой.

11. При термическом ожоге пострадавший должен немедленно обратиться в медпункт, запрещается отдирать от кожи пригоревшие остатки одежды, обрезать обгоревшую кожу, прокалывать ожоговые волдыри и промывать водой пораженные участки кожи.

12. Во избежание несчастных случаев необходимо соблюдение требований общецеховой инструкции по технике безопасности.

9. Список использованной литературы

1. Амелин А.Г. Технология серной кислоты. – М. издательство “Химия” 1975 / -361 с.
2. Амелин А.Г. Общая Химическая Технология. –М. “Химия” 1975./259 с.
3. ГОСТ Р 52857.2 – 2007 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Расчет цилиндрических и конических обечаек, выпуклых и плоских днищ и крышек.
4. ГОСТ Р 52857.3 – 2007 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Укрепление отверстий в обечайках и днищах при внутреннем и внешнем давлениях. Расчет на прочность обечаек и днищ при внешних статических нагрузках на штуцер
5. ГОСТ Р 52857.4 – 2007 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Расчет на прочность и герметичность фланцевых соединений.
6. Романков П.Г., Фролов В.Ф., Флисюк О.М., Курочкина М.И. Методы расчета процессов и аппаратов химической технологии. СПб.: Химия 1993. 496 с.
7. [http://thermalinfo.ru/publ/gazy/neorganicheskie_gazy/vjazkost_plotnost_teploe_mkost_vozdukha/27-1-0-3]
8. Павлов К.Ф., Романков П.Г., Носков А.А. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии. Л.: Химия, 1981. – 560 с
9. ГОСТ 14249-89 Сосуды и аппараты. Нормы методы их расчета на прочность
- 10.ГОСТ 52857.7.200-7 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Теплообменные аппараты.
- 11.Расчет и конструирование машин и аппаратов химических производств. Учебное пособие / под ред. М.Ф. Михалева – М.: Машиностроение, 1984. – 302 с.
- 12.Канторович З.Б. Основы расчета химических машин и аппаратов. –М.: Машиностроение, 1960. –744 с.
- 13.Лацинский А.А., Толчинский А.Р. Основы конструирования и расчета химической аппаратуры: Справочник. – 2-е изд. –Л.: Машиностроение, 1970. –752 с.
- 14.Смирнов Г.Г., Толчинский А.Р., Кондратьева Т.Ф. Конструирование безопасных аппаратов для химических и нефтехимических производств. Справочник. –Л.: Машиностроение, 1988. –303 с.
- 15.Топтуненко Е.Т. Основы конструирования и расчета химических аппаратов и машин. –Харьков: Изд.ХГУ, 1968. –376 с.
- 16.ГОСТ 14114-85 Устройства строповые для сосудов и аппаратов. Штуцера монтажные. Конструкция и размеры
- 17.ГОСТ 14115-85 Устройства строповые для сосудов и аппаратов. Штуцера

- монтажные удлиненные. Конструкция и размеры
- 18.ГОСТ 14116-85 Устройства строповые для сосудов и аппаратов. Штуцера монтажные. Технические требования
 - 19.Социальная ответственность организации. Требования: Международный стандарт IC CSR 26000 : 2011
 - 20.Кукин П.П., Лапин В.Л. и др. Безопасность жизнедеятельности. Безопасность технологических процессов и производств: учеб. пособие.- М.: Высшая школа, 1999. – 318с.
 - 21.Технологический регламент «Производство серной кислоты СК-3»
 - 22.Федеральный закон Российской Федерации от 22 июля 2008 г. N 123-ФЗ "Технический регламент о требованиях пожарной безопасности"
 - 23.ГОСТ 12.4.011-89 ССБТ «Средства защиты работающих. Общие требования и классификация».
 - 24.ВНТП 3-85, ПБ 08-624-03 «Общие Правила противопожарного режима в Российской Федерации».
 - 25.ГОСТ 12.4.011-89 ССБТ «Средства защиты работающих. Общие требования и классификация».
 - 26.№ 384-ФЗ от 30.12.2009 «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений».
 - 27.ГОСТ 12.4.220-2002 «Система стандартов безопасности труда. Средства индивидуальной защиты».
 - 28.ГОСТ Р 12.4.218-99 «Система стандартов безопасности труда. Одежда специальная. Общие технические требования».
 - 29.ГОСТ 12.4.183-91 «Перчатки резиновые диэлектрические бесшовные».
 - 30.ГОСТ 12.1.007-76 «Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности».
 - 31.ГОСТ 4204-77 «Реактивы. Кислота серная. Технические условия»
 - 32.ГОСТ Р 22.0.01-94. Безопасность в ЧС. Основные положения.
 - 33.СП 10.13130.2009 «Системы противопожарной защиты» Внутренний противопожарный водопровод