

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

Институт электронного обучения

Направление подготовки 18.03.02 Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии

Кафедра общей химии и химической технологии

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Разработка основного теплообменного оборудование сушильно-абсорбционного отделения сернокислотного цеха

УДК 66.045.1:66.047:661.25

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-2к22	Разакова Лабар Назиркуловна		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Балмашнов М. А.	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
Старший преподаватель	Романцов И. И.	к.т.н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

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

Томск – 2017 г.

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требование ФГОС ВПО, критериев и/или заинтересованных сторон
<i>Профессиональные компетенции</i>		
P1	Применять базовые математические, естественнонаучные, социально-экономические и специальные знания в профессиональной деятельности	Требования ФГОС (ПК-1,2,3,19,20), Критерий 5 АИОР (п.1.1)
P2	Применять знания в области энерго-и ресурсосберегающих процессов и оборудования химической технологии, нефтехимии и биотехнологии для решения производственных задач	Требования ФГОС (ПК-4,5,9,15 ОК-7), Критерий 5 АИОР (пп.1.1,1.2)
P3	Ставить и решать задачи производственного анализа, связанные с созданием и переработкой материалов с использованием моделирования объектов и процессов химической технологии, нефтехимии и биотехнологии	Требования ФГОС (ПК-4,5,8,11 ОК-2,4), Критерий 5 АИОР (пп.1.2)
P4	Проектировать и использовать новое энерго-и ресурсосберегающих процессов и оборудования химической технологии, нефтехимии и биотехнологии	Требования ФГОС (ПК-8,11,23,24), Критерий 5 АИОР (п.1.3)
P5	Проводить теоретические и экспериментальные исследования в области энерго-и ресурсосберегающих процессов и оборудования химической технологии, нефтехимии и биотехнологии	Требования ФГОС (ПК-1,4,5,19-22 ОК-7,10), Критерий 5 АИОР (п.1.4)
P6	Осваивать и эксплуатировать современное высокотехнологичное оборудование, обеспечивать его высокую эффективность и надежность, соблюдать правила охраны труда на производстве, выполнять требования по защите окружающей среды	Требования ФГОС (ПК-6,12,13,14,17 ОК-3,4,8), Критерий 5 АИОР (п.1.5)
P7	Применять знания по проектному менеджменту для ведения инновационной инженерной деятельности с учетом юридических аспектов защиты интеллектуальной собственности	Требования ФГОС (ПК-3,8,9,10,11,12,13), Критерий 5 АИОР (п.2.1), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требование ФГОС ВПО, критериев и/или заинтересованных сторон
Р8	Использовать современные компьютерные методы вычисления, основанные на применении современных эффективных программных продуктов при расчете свойств материалов, процессов, аппаратов и систем, характерных для профессиональной области деятельности; находить необходимую литературу, использовать компьютерные базы данных и другие источники информации	Требования ФГОС (ПК-4,5,9,10,11,14)
<i>Общекультурные компетенции</i>		
Р9	Демонстрировать знания социальных, этических и культурных аспектов профессиональной деятельности	Требования ФГОС (ОК-1,2,6-10), Критерий 5 АИОР (пп.2.4,2.5)
Р10	Самостоятельно учиться и непрерывно повышать квалификацию в течении всего периода профессиональной деятельности	Требования ФГОС (ОК-6,7,8), Критерий 5 АИОР (п.2.6)
Р11	Владеть иностранным языком на уровне, позволяющим разрабатывать документацию, презентовать результаты профессиональной деятельности	Требования ФГОС (ОК-11), Критерий 5 АИОР (п.2.2)
Р12	Эффективно работать индивидуально и в коллективе, демонстрировать ответственность за результаты работы и готовность следовать корпоративной культуре организации	Требования ФГОС (ОК-3,4,5,12), Критерий 5 АИОР (пп.1.6,2.3)

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

Институт электронного обучения

Направление подготовки 18.03.02 Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии

Кафедра общей химии и химической технологии

УТВЕРЖДАЮ:

Зав. кафедрой

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

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврской работы

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

Студенту:

Группа	ФИО
3-2К22	Разакова Лабар Назиркуловна

Тема работы:

Разработка основного теплообменного оборудования сушильно-абсорбционного отделения сернокислотного цеха

Утверждена приказом директора (дата, номер)	2840/С от 19.04.2017г.
---	------------------------

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Исходные данные к работе
<i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i>	<i>Объект исследования – кожухотрубчатый теплообменник типа ТН с внутренним диаметром 1200мм; предназначен для охлаждения серной кислоты Алмалыкского горно-металлургического комбината. Установка аппарата имеется на сушильно-абсорбционном отделении, сернокислотного цеха, медеплавильного завода для разработки ее детали необходимо не только рассчитать их, но также проверить экономическую эффективность и социальную ответственность всей работы</i>

<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов. <i>Провести технологический и конструктивно-механический расчет, выполнить рабочие чертежи;</i> <i>провести анализ производственной мощности и анализ производственной безопасности;</i> <i>оценить результаты выполненной работы;</i></p>
<p>Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<p><i>Теплообменник кожухотрубчатый. Чертеж общего вида – 1 лист</i> <i>Выносные элементы – 1 лист</i> <i>Технологическая схема – 1 лист</i> <i>Точка безубыточности – 1 лист</i></p>

<p>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i></p>	
<p>Раздел</p>	<p>Консультант</p>
<p>«Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»</p>	<p>Доцент, кандидат экономических наук Рыжакина Татьяна Гавриловна</p>
<p>«Социальная ответственность»</p>	<p>Старший преподаватель, кандидат технических наук Романцов Игорь Иванович.</p>
<p>«Конструктивно-механический раздел»</p>	<p>Доцент, кандидат технических наук Беляев Василий Михайлович</p>
<p>«Механо-технологический раздел»</p>	<p>Доцент, кандидат технических наук Семакина Ольга Константиновна</p>
<p>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</p>	
<p>Реферат</p>	

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

Задание выдал руководитель:

<p>Должность</p>	<p>ФИО</p>	<p>Ученая степень, звание</p>	<p>Подпись</p>	<p>Дата</p>
<p>Доцент</p>	<p>Балашнов М. А.</p>	<p>к.т.н.</p>		

Задание принял к исполнению студент:

<p>Группа</p>	<p>ФИО</p>	<p>Подпись</p>	<p>Дата</p>
<p>3-2к22</p>	<p>Разакова Лабар Назиркуловна</p>		

Реферат

Выпускная квалификационная работа состоит из пояснительной записки. Пояснительная записка содержит 82 страницы, 4 рисунков и 33 источников.

Целью работы является разработка основного теплообменного оборудования сушильно-абсорбционного отделения сернокислотного цеха.

В разделе «Расчет теплообменного аппарата» приведен технологический расчет теплообменного аппарата, в ходе которого рассчитали ориентировочный и уточненный расчет, и предварительный подбор теплообменника. Проведены конструктивный и механические расчеты на прочность, укрепления отверстий, расчет трубной решетки, фланцевых соединений, массы аппарата и опор.

В разделе «Социальная ответственность» выявлены опасные и вредные факторы на данном производстве. Рассмотрены вопросы производственной и экологической безопасности.

В разделе «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» была рассчитана экономическая часть проекта и построены графики точки безубыточности.

Выпускная квалификационная работа была выполнена в редакторе «Microsoft Word», расчеты проведены в среде «MathCAD».

Оглавление

1. Введение	8
2. Объекты и методы исследования	9
3. Технологический расчет	10
3.1. Тепловые расчеты	10
3.2. Ориентировочный расчет и подбор теплообменника	11
3.3 Уточненный расчет теплообменника	12
3.3.1 Коэффициент теплоотдачи от серной кислоты к стенке	12
3.3.2 Коэффициент теплоотдачи от стенки к воде	14
3.3.3 Суммарное термическое сопротивление стенки и загрязнений	14
3.3.4 Коэффициент теплопередачи и поверхность теплообмена	15
3.3.5. Конструктивный расчет теплообменника	16
3.3.6. Определение температурных напряжений в трубах и корпусе	16
3.3.7. Расчет и подбор патрубков	17
4. Механический расчет	19
4.1. Механический расчет кожухотрубчатого теплообменного аппарата (типа ТН)	19
4.2. Расчётные параметры	19
4.2.1. Расчётное напряжение	19
4.2.2. Прибавки к расчетным толщинам конструктивных элементов	20
4.2.3. Расчет давлений	20
4.2.4. Расчет толщины стенок корпуса аппарата	20
4.2.5. Расчет толщины стенки цилиндрической обечайки	21
4.2.6. Расчет толщины стенки распределительной камеры	21
4.2.7. Расчёт толщины стенки эллиптической крышки, нагруженной внутренним избыточным давлением межтрубного пространства	22
4.3. Расчет фланцевого соединения для фланцев кожуха аппарата	23
4.4. Расчет штуцеров	32
4.5. Укрепление отверстий патрубков	34
4.6. Расчетные длины штуцеров	34
4.7. Расчет трубной решетки	37
4.8. Расчет массы аппарата	46
4.9. Расчет седлообразных опор	48
5. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	52
6. Производственная безопасность	68
6.1. Анализ вредных факторов	69
6.2. Анализ опасных факторов	71
6.2.1. Электробезопасность	71
6.2.2. Пожарная безопасность	72
6.2.3. Термическая опасность	73
6.2.4. Химическая опасность	73
6.3. Экологическая безопасность	74
6.4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях	77
7. Заключение	80
Список использованной литературы	81

1. Введение

В настоящее время серная кислота находит широкое применение в различных отраслях промышленности, таких как:

- производство азотной, соляной и плавиковой кислот;
- производство сернокислых солей меди, цинка, магния и железа;
- металлургическая, пищевая, нефтяная и многие другие виды производства.

Самым крупным потребителем серной кислоты является промышленность по производству минеральных удобрений.

Широкое применение серной кислоты обусловлено ее высокой химической активностью, также она относится к сильным электролитам и хорошо взаимодействует с водой, являясь катализатором в ряде процессов.

Цель данной работы – разработка основного теплообменного оборудования сушильно-абсорбционного отделения сернокислотного цеха.

Объектом исследования – цех по производству серной кислоты АО «Алмалыкский ГМК».

Основной задачей проекта является проектирование и расчет основного оборудования производства серной кислоты.

2. Объекты и методы исследования

Необходимо реконструировать кожухотрубчатый теплообменник типа ТН, имеющийся на медеплавильном заводе АО «Алмалыкский ГМК». Сам аппарат находится в сушильно-абсорбционном отделении, там же с помощью рабочих сил осуществить демонтаж теплообменника и определить: какие детали изнашивались, утратили свою работоспособность и нуждаются в замене, а какие следует проверить на критерии надежности после того, как будет произведена замена необходимых деталей.

Для того, чтобы работа была исполнена качественно, в отделении, где находится теплообменник, имеются все необходимые инструменты. Для удобства и быстроты выполнения работ расчеты производить в программе MathCad.

После того, как все детали кожухотрубчатого теплообменника будут рассчитаны и спроектированы, необходимо сделать рабочие эскизы и заказать изготовление деталей.

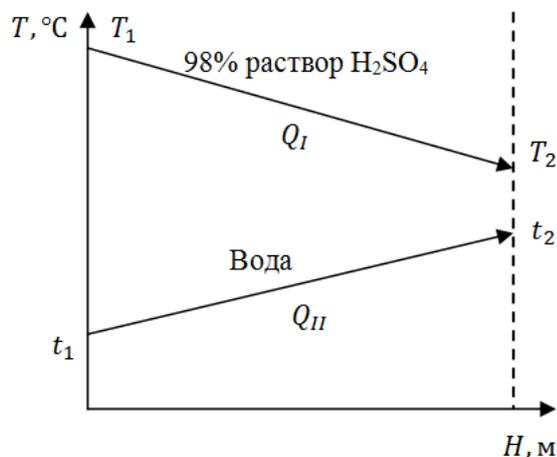
Когда все детали будут изготовлены, произвести сборку теплообменника и проверить его работоспособность, после того оценить результаты своей работы. По завершению сделать все необходимые чертежи аппарата.

3 Технологический расчет

3.1 Тепловые расчеты

Принимаем для межтрубного пространства индекс «1», для трубного – «2».

Температурная схема процесса:



Рассчитаем большую (Δt_6) и малую (Δt_m) разность температур на концах теплоносителей:

$$\Delta t_6 = T_1 - t_1 = 70 - 28 = 42^\circ\text{C}; \quad (1.1)$$

$$\Delta t_m = T_2 - t_2 = 45 - 38 = 7^\circ\text{C}, \quad (1.2)$$

где T_1 – температура серной кислоты на входе в теплообменник, $^\circ\text{C}$;

T_2 – температура серной кислоты на выходе из теплообменника, $^\circ\text{C}$;

t_1 – температура воды на входе в теплообменник, $^\circ\text{C}$;

t_2 – температура воды на выходе из теплообменника, $^\circ\text{C}$.

Средняя разность температур Δt_{cp} определим по уравнению 4.78 [1, с. 169]:

$$\Delta t_{cp} = \frac{\Delta t_6 - \Delta t_m}{\ln(\Delta t_6/\Delta t_m)} = \frac{42 - 7}{\ln(42/7)} = 19,5^\circ\text{C}. \quad (1.3)$$

Среднюю температуру воды рассчитаем по уравнению 4.82 [1, с. 170]:

$$t_{cp2} = (t_1 + t_2)/2 = (28 + 38)/2 = 33^\circ\text{C}. \quad (1.4)$$

Средняя температура серной кислоты по уравнению 4.82a [1, с. 170]:

$$t_{cp1} = t_{cp2} + \Delta t_{cp} = 33 + 19,5 = 52,5^\circ\text{C}. \quad (1.5)$$

Уравнение теплового баланса:

$$Q_I = Q_{II} + Q_{п}, \quad (1.6)$$

где $Q_I = G_1 \cdot C_{p1} \cdot (T_1 - T_2)$ – тепло, отдаваемое серной кислотой;

$Q_{II} = G_2 \cdot C_{p2} \cdot (t_2 - t_1)$ – тепло, получаемое водой;

$Q_{п}$ – тепловые потери (примем 5% от Q_I);

G_1 – массовый расход серной кислоты, кг/с;

G_2 – массовый расход потока воды, кг/с;

C_{p1} – теплоемкость серной кислоты при средней температуре, Дж/(кг · К);

C_{p2} – теплоемкость воды при средней температуре, Дж/(кг · К).

$$G_1 \cdot C_{p1} \cdot (T_1 - T_2) = G_2 \cdot C_{p2} \cdot (t_2 - t_1) + 0,05 \cdot G_1 \cdot C_{p1} \cdot (T_1 - T_2);$$

$$0,95 \cdot G_1 \cdot C_{p1} \cdot (T_1 - T_2) = G_2 \cdot C_{p2} \cdot (t_2 - t_1). \quad (1.7)$$

Из уравнения теплового баланса выразим расход воды:

$$G_2 = \frac{0,95 \cdot G_1 \cdot C_{p1} \cdot (T_1 - T_2)}{C_{p2} \cdot (t_2 - t_1)}. \quad (1.8)$$

Объемный расход серной кислоты равен $V_1=100 \text{ м}^3/\text{ч}$. Переведем в кг/с:

$$G_1 = V_1 \cdot \rho_1 = \frac{100}{3600} \cdot 1805,13 = 50,14 \frac{\text{кг}}{\text{с}}, \quad (1.9)$$

где ρ_1 – плотность 98% серной кислоты из табл. IV при t_{cp1} [1, с. 512].

Теплоемкость воды определим по табл. XXXIX при $t_{cp2} = 33^\circ\text{C}$ [1, с. 537]:

$$C_{p2} = 4180 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}.$$

Теплоемкость серной кислоты найдем по уравнению 5.11 [1, с. 248]

$$C_{p1} = 4180(1 - x) + C_{H_2SO_4} \cdot x, \quad (1.10)$$

где $C_{H_2SO_4}$ – удельная теплоемкость безводной серной кислоты, по рис. XI [1, с. 562] при $t_{cp1} = 52,5^\circ\text{C}$ $C_{H_2SO_4} = 1487,45 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$;

x – концентрация серной кислоты, масс. доли.

$$C_{p1} = 4180(1 - 0,98) + 1487,45 \cdot 0,98 = 1541,3 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}.$$

Расход воды:

$$G_2 = \frac{0,95 \cdot 50,14 \cdot 1541,3 \cdot (70 - 45)}{4180 \cdot (38 - 28)} = 43,91 \frac{\text{кг}}{\text{с}}.$$

Объемные расходы серной кислоты и воды:

$$V_1 = 100 \frac{\text{м}^3}{\text{ч}} = 0,0278 \frac{\text{м}^3}{\text{с}};$$

$$V_2 = \frac{G_2}{\rho_2} = \frac{43,91}{994,1} = 0,0442 \frac{\text{м}^3}{\text{с}},$$

где ρ_2 – плотность воды при $t_{cp2} = 33^\circ\text{C}$ из табл. IV [1, с. 512].

Тепловая нагрузка:

$$Q = G_2 \cdot C_{p2} \cdot (t_2 - t_1) = 43,91 \cdot 4180 \cdot (38 - 28) = 1835510 \text{ Вт}. \quad (1.11)$$

3.2 Ориентировочный расчет и подбор теплообменника

Принимаем трубы $\text{Ø}25 \times 2$:

$d_1 = 25 \text{ мм}$ – наружный диаметр трубок;

$\delta = 2 \text{ мм}$ – толщина стенок трубок;

$d_2 = d_n - 2 \cdot \delta = 25 - 2 \cdot 2 = 21 \text{ мм}$ – внутренний диаметр трубок.

Из табл. VI [1, с. 514] определим вязкость воды при средней температуре 33°C :

$$\mu_2 = 0,7523 \text{ мПа} \cdot \text{с}.$$

Рассчитаем ориентировочную поверхность теплообмена, используя основное уравнение теплопередачи [1, с. 168]:

$$Q = K \cdot F \cdot \Delta t_{cp}. \quad (1.12)$$

Ориентировочные значения коэффициентов теплопередачи по табл. 4.8 [1, с. 172]:

- от жидкости к жидкости:

$$K_{op}^{min} = 140 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}); K_{op}^{max} = 340 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}).$$

Пределы ориентировочной поверхности теплообмена:

$$F_{op}^{min} = \frac{Q}{K_{op}^{max} \cdot \Delta t_{cp}} = \frac{1835510}{340 \cdot 19,5} = 276,85 \text{ м}^2;$$

$$F_{op}^{max} = \frac{Q}{K_{op}^{min} \cdot \Delta t_{cp}} = \frac{1835510}{140 \cdot 19,5} = 672,35 \text{ м}^2.$$

Опираясь на рассчитанные данные, выберем теплообменник из табл. 4.12 [1, с.215]:

Таблица 1 – Параметры выбранного теплообменного аппарата

Число ходов, Z	Внутренний диаметр, D _{вн} , мм	Общее число труб, N _{тр}	Число труб на один ход, n	Поверхность теплообмена, F, м ²
2	1200	1048	524	329; 494; 740

Проведем уточненный расчет для выбранного теплообменника.

3.3 Уточненный расчет теплообменника

Рассчитаем действительную поверхность теплообмена, выражая ее из основного уравнения теплопередачи 4.72 [1, с. 168]:

$$F_{дейст} = \frac{Q}{K_{дейст} \cdot \Delta t_{cp}}; \quad (1.13)$$

$$K_{дейст} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_2} + \Sigma R}, \quad (1.14)$$

где α_1 – коэффициент теплоотдачи от серной кислоты к стенке;
 α_2 – коэффициент теплоотдачи от стенки к воде;
 ΣR – сумма термических сопротивлений стенки и загрязнений.

3.3.1 Коэффициент теплоотдачи от серной кислоты к стенке

Коэффициент теплоотдачи определим по формуле 4.11 [1, с. 150], выражая α :

$$\alpha_1 = \frac{Nu_1 \cdot \lambda_1}{d_1},$$

где Nu_1 – критерий Нуссельта;

λ_1 – коэффициент теплопроводности, Вт/(м · К).

Определим гидродинамический режим потока.

Скорость потока серной кислоты в межтрубном сечении:

$$\omega_1 = \frac{V_1}{S_1} = \frac{0,0278}{0,165} = 0,1685 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

Здесь S_1 – проходное сечение межтрубного пространства, табл. 4.12 [1, с. 215].

Критерий Рейнольдса равен:

$$Re_1 = \frac{\omega_1 d_1 \rho_1}{\mu_1} = \frac{0,1685 \cdot 0,025 \cdot 1805,13}{8,97 \cdot 10^{-3}} = 847,65,$$

где d_1 – наружный диаметр труб, определяющий линейный размер при поперечном обтекании.

$10 < Re_1 < 2300$ – режим течения серной кислоты ламинарный.

При ламинарном течении жидкости уравнение критерия Нуссельта будет иметь вид:

$$Nu_1 = 0,15 \cdot Re_1^{0,33} \cdot Gr_1^{0,1} \cdot Pr_1^{0,43} \cdot \left(\frac{Pr_1}{Pr_{cm1}} \right)^{0,25},$$

где Gr_1 – критерий Грасгофа:

$$Gr_1 = \frac{d_1^3 \cdot \rho_1^2 \cdot \beta_1 \cdot \Delta t \cdot g}{\mu_1^2};$$

Pr_1, Pr_{cm1} – критерий Прандтля при средней температуре теплоносителя (t_{cp1}) и при температуре стенки соответственно. Значения критерия определяем по рис. XIII [1, с. 564], либо по формуле 4.12 [1, с. 151]:

$$Pr_1 = \frac{C_{p1} \cdot \mu_1}{\lambda_1} = \frac{1541,3 \cdot 8,97 \cdot 10^{-3}}{0,275} = 50,27.$$

Точно такое же значение получаем из рис. XIII. Поэтому в дальнейшем определять значение критерия Прандтля будет графическим путем.

Температуру стенки определим по формуле:

$$t_{cm1} = t_{cp1} + 0,8 \cdot \Delta t_{cp} = 52,5 + 0,8 \cdot 19,5 = 68,1^\circ\text{C}.$$

Критерий Прандтля при t_{cm1} равен $Pr_{cm1} = 33$.

Критерий Грасгофа равен:

$$Gr_1 = \frac{0,025^3 \cdot 1805,13^2 \cdot 0,53 \cdot 10^{-3} \cdot 15,6 \cdot 9,81}{(8,97 \cdot 10^{-3})^2} = 50995,13$$

где β_1 – коэффициент объемного расширения, табл. XXXIII [1, с. 531];

Δt – разность температур стенки и жидкости: $\Delta t = t_{cm1} - t_{cp1} = 68,1 - 52,5 = 15,6^\circ\text{C}$.

Таким образом критерий Нуссельта равен:

$$Nu_1 = 0,15 \cdot 847,65^{0,33} \cdot 50995,13^{0,1} \cdot 50,27^{0,43} \cdot \left(\frac{50,27}{33} \right)^{0,25} = 24,57.$$

Коэффициент теплоотдачи от серной кислоты к стенке равен:

$$\alpha_1 = \frac{24,57 \cdot 0,275}{0,025} = 270,28$$

3.3.2 Коэффициент теплоотдачи от стенки к воде

Коэффициент теплоотдачи α_2 от стенки к воде:

$$\alpha_2 = \frac{Nu_2 \cdot \lambda_2}{d_2}. \quad (1.16)$$

Скорость потока воды в трубном сечении:

$$\omega_2 = \frac{V_2}{S_2} = \frac{V_2}{0,785 \cdot d_2^2 \cdot (N_{тр}/2)} = \frac{0,0442}{0,785 \cdot 0,021^2 \cdot (1048/2)} = 0,2435 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

Здесь S_2 – проходное сечение трубного пространства.

Критерий Рейнольдса равен:

$$Re_2 = \frac{\omega_2 d_2 \rho_2}{\mu_2} = \frac{0,2435 \cdot 0,021 \cdot 994,1}{0,7523 \cdot 10^{-3}} = 6757,24,$$

где d_2 – внутренний диаметр труб.

$2300 < Re_1 < 10000$ – режим течения воды переходный.

Расчет критерия Нуссельта в переходной области можно выполнить по графику (рис. 4.1) [1, с. 154]:

$$\frac{Nu_2}{Pr_2^{0,43} \cdot \left(\frac{Pr_2}{Pr_{ст2}}\right)^{0,25}} = f(Re).$$

Значение $Pr_{ст2}$ берем при температуре стенки $t_{ст2}$:

$$t_{см2} = t_{max2} = 40^\circ\text{C},$$

где t_{max2} – максимальная температура стенки (см. исходные данные).

По рис. 4.1 находим:

$$\frac{Nu_2}{Pr_2^{0,43} \cdot \left(\frac{Pr_2}{Pr_{ст2}}\right)^{0,25}} = 23,2$$

Подставляем найденные значения критерия $Pr_2 = 5,05$ и $Pr_{ст2} = 4,33$ по рис. XIII [1, с. 564], вычислим значение критерия Нуссельта:

$$Nu = 23,2 \cdot 5,05^{0,43} \cdot \left(\frac{5,05}{4,33}\right)^{0,25} = 48,37.$$

Коэффициент теплоотдачи:

$$\alpha_2 = \frac{48,37 \cdot 0,623}{0,021} = 1435,07 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}.$$

3.3.3 Суммарное термическое сопротивление стенки и загрязнений

Рассчитаем сумму термических сопротивлений стенки и загрязнений [1, с. 195]:

$$\Sigma R = r_{31} + r_{32} + \frac{\delta}{\lambda_{cm}}. \quad (1.20)$$

где r_{31} – тепловое сопротивление загрязнения стенки со стороны серной кислоты;

r_{32} – тепловое сопротивление загрязнения стенки со стороны воды;

λ_{cm} – коэффициент теплопроводности стенки, Вт/(м · К);

δ – толщина стенки трубок, м.

Из табл. XXXI [1, с. 531] выберем тепловые проводимости загрязнений:

- со стороны серной кислоты

$$\frac{1}{r_{31}} = 5800 \frac{Вт}{(м^2 \cdot К)};$$

- со стороны воды

$$\frac{1}{r_{32}} = 5800 \frac{Вт}{(м^2 \cdot К)}.$$

Из табл. XXVIII [1, с. 529] для стали:

$$\lambda_{cm} = 17,5 \frac{Вт}{м \cdot К}.$$

Для удобства, рассчитаем величину, обратную сумме сопротивлений – тепловую проводимость:

$$\frac{1}{\Sigma R} = \frac{1}{\frac{1}{5800} + \frac{1}{5800} + \frac{2 \cdot 10^{-3}}{17,5}} = 2178,1 \frac{Вт}{м^2 \cdot К}.$$

3.3.4 Коэффициент теплопередачи и поверхность теплообмена

Рассчитаем коэффициент теплопередачи:

$$K_{дейст} = \frac{1}{\frac{1}{270,28} + \frac{1}{1435,07} + \frac{1}{2178,1}} = 205,94 \frac{Вт}{м^2 \cdot К}.$$

Тогда площадь теплопередачи составит:

$$F_{дейст} = \frac{1835510}{205,94 \cdot 19,5} = 457,07 \text{ м}^2.$$

Запас поверхности:

$$\Delta F = \frac{494 - 457,07}{457,07} \cdot 100 = 8,08 \%. \quad (1.21)$$

Запас поверхности теплообмена достаточен.

Число ходов, Z	Диаметр, D, мм	Общее число труб, N	Длина труб, м	Поверхность теплообмена, м ²
2	1200	1048	6	494

3.3.5. Конструктивный расчет теплообменника

Определим площадь проходного сечения трубок одного хода [2]:

$$f_1 = \frac{G_2}{\rho_2 \omega_2} = \frac{43,91}{994,1 \cdot 0,2435} = 0,1814 \text{ м}^2.$$

Отсюда число трубок одного хода:

$$n_1 = \frac{f_1}{0,785 d_2^2} = \frac{0,1814}{0,785 \cdot 0,021^2} = 524.$$

Расчетная длина одной трубки при одном ходе:

$$L = \frac{F_{\text{дейст}}}{\pi d_p n_1} = \frac{457,07}{3,14 \cdot 0,025 \cdot 524} = 11,11 \text{ м},$$

где d_p – расчетный диаметр трубки, определяемый в зависимости от соотношения коэффициентов теплоотдачи в трубном и межтрубном пространстве α_1 и α_2 ; при $\alpha_1 \ll \alpha_2$:

$$d_p = d_1 = 0,025 \text{ м}.$$

Число ходов трубного пространства:

$$Z = \frac{L}{l} = \frac{11,11}{6} = 1,85 \approx 2,$$

где l – рабочая длина труб, 6000 мм.

Диаметр для многоходового теплообменника находим из соотношения:

$$D_{\text{вн}} = 1,1t \sqrt{\frac{n}{\eta}} = 1,1 \cdot 32 \cdot \sqrt{\frac{1048}{0,8}} = 1174 \text{ мм},$$

где $n = Zn_1 = 2 \cdot 524 = 1048$ – общее число трубок;

$$t = 1,2d_1 + 2 = 1,2 \cdot 25 + 2 = 32 \text{ мм}.$$

Округляем до ближайшего стандартного размера:

$$D_{\text{вн}} = 1200 \text{ мм}.$$

Общая высота кожухотрубчатого теплообменника равна:

$$H = l + 2h = 6000 + 2 \cdot 300 = 6600 \text{ мм},$$

где $h=200-400$ мм – высота распределительной камеры.

3.3.6. Определение температурных напряжений в трубах и корпусе

Температурные напряжения в трубах и корпусе [2]:

$$\sigma_T = \frac{Q_t}{F_T} = \frac{(\alpha_T t_T - \alpha_K t_K) E_T E_K F_K}{E_T F_T + E_K F_K};$$

$$\sigma_K = \frac{Q_t}{F_K} = \frac{(\alpha_T t_T - \alpha_K t_K) E_T E_K F_T}{E_T F_T + E_K F_K},$$

где α_T, α_K – температурные коэффициенты линейного расширения труб и корпуса, $^{\circ}\text{C}^{-1}$;

E_T, E_K – модули упругости материала труб и кожуха, МПа;

F_T, F_K – площади поперечного сечения всех труб и корпуса, м^2 ;

t_T, t_K – температуры труб и кожуха, $^{\circ}\text{C}$.

Материал труб – сталь марки 10X17H13M2T.

Материал кожуха – сталь марки 09Г2С.

Температурные коэффициенты линейного расширения и модули упругости материала труб и кожуха взяты из справочников при температурах $t_T = 33^\circ\text{C}$ и $t_K = 52,5^\circ\text{C}$.

Площади поперечного сечения:

$$F_T = 0,785(d_1^2 - d_2^2)n = 0,785(0,025^2 - 0,021^2) \cdot 1048 = 0,1514 \text{ м}^2;$$

$$F_K = 0,785(D_H^2 - D_{BH}^2) = 0,785(1,232^2 - 1,2^2) = 0,0611 \text{ м}^2.$$

Определим температурные напряжения в трубах и корпусе:

$$\sigma_T = \frac{|(16,6 \cdot 10^{-6} \cdot 33 - 13 \cdot 10^{-6} \cdot 52,5)| \cdot 208,7 \cdot 10^3 \cdot 206,9 \cdot 10^3 \cdot 0,0611}{208,7 \cdot 10^3 \cdot 0,1514 + 206,9 \cdot 10^3 \cdot 0,0611} = 8,03 \text{ МПа.}$$

Допустимое напряжение для стали труб: $[\sigma_T] = 145,6 \text{ МПа}$.

$$\sigma_T < [\sigma_T].$$

$$\sigma_K = \frac{|(16,6 \cdot 10^{-6} \cdot 33 - 13 \cdot 10^{-6} \cdot 52,5)| \cdot 208,7 \cdot 10^3 \cdot 206,9 \cdot 10^3 \cdot 0,1514}{208,7 \cdot 10^3 \cdot 0,1514 + 206,9 \cdot 10^3 \cdot 0,0611} = 19,91 \text{ МПа.}$$

Допустимое напряжение для стали кожуха: $[\sigma_K] = 170 \text{ МПа}$.

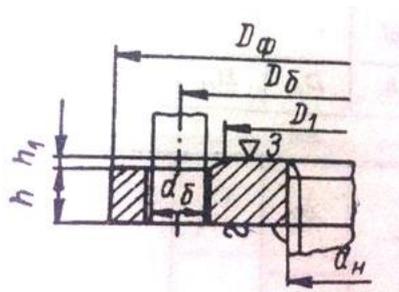
$$\sigma_K < [\sigma_K].$$

Следовательно, выбираем кожухотрубчатый двухходовый теплообменник с внутренним диаметром кожуха 1200 мм, общим числом труб 1048 и длиной корпуса и труб 6000 мм.

Число ходов, Z	Диаметр, D_{BH} , мм	Общее число труб, N	Длина труб, м	Поверхность теплообмена, м^2
2	1200	1048	6	494

3.3.7. Расчет и подбор патрубков

Примем скорость жидкости среды в штуцерах межтрубного пространства теплообменника равной 0,5м/с. [1, с. 17].



1. Диаметр условного прохода (внутренний диаметр) штуцеров для подвода и отвода смеси определим по формуле:

$$d_{шт}^{вн} = \sqrt{\frac{4 \cdot G_2}{\pi \cdot \omega_{см} \cdot \rho_{см}}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 50,14}{3,14 \cdot 0,5 \cdot 1805,13}} = 0,266 \text{ м} = 266 \text{ мм.}$$

Принимаем $d_{шт}^{вн} = 300 \text{ мм}$.

Таблица 1.1 – Параметры фланцев

D_y	d_n	D_ϕ	$D_{\bar{o}}$	D_1	Болты		Тип фланцев – 1	
					$d_{\bar{o}}$	z	ГОСТ 1255-67	
мм					M20	12	$h, мм$	Масса, кг
300	325	435	395	365				

2. Примем скорость жидкости хладагента в штуцерах трубного пространства теплообменника равной 1 м/с. [1, с. 17].

Диаметр условного прохода (внутренний диаметр) штуцера для подвода и отвода воды:

$$d_{ум}^{вн} = \sqrt{\frac{4 \cdot G_1}{\pi \cdot \omega_n \cdot \rho_n}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 43,91}{3,14 \cdot 1 \cdot 994}} = 0,237 \text{ м} = 237 \text{ мм},$$

где ρ_n – плотность водяного пара.

Принимаем рассчитанный диаметр равный 300 мм в соответствии с нормализованным диаметром условного прохода штуцеров кожухотрубных т/о [3, с. 547].

Принимаем $d_{ум}^{вн} = 300 \text{ мм}$.

Таблица 1.2 – Параметры фланцев

D_y	d_n	D_ϕ	$D_{\bar{o}}$	D_1	Болты		Тип фланцев – 1	
					$d_{\bar{o}}$	z	ГОСТ 1255-67	
мм					M20	12	$h, мм$	Масса, кг
300	325	435	395	365				

4. Механический расчет

4.1 Механический расчет кожохотрубчатого теплообменного аппарата (типа ТН)

Исходные данные

Внутренний диаметр аппарата:

$$D := 1200 \text{ мм}$$

Длина цилиндрической обечайки:

$$l := 6000 \text{ мм}$$

Основные конструктивные параметры эллиптических крышек определяем согласно [3, стр. 442]:

Диаметр крышки:

$$D_{кр} := 1200 \text{ мм}$$

Высота отбортованной части крышки:

$$h_2 := 40 \text{ мм}$$

Высота крышки:

$$H_k := 300 + h_2 = 340 \text{ мм}$$

Длина аппарата согласно [1, стр. 30]:

$$L := 7536 \text{ мм}$$

Длина распределительной камеры:

$$L_{камеры} := L - 2H_k - l = 856 \text{ мм}$$

4.2. Расчётные параметры

4.2.1. Расчётное напряжение

Основные характеристики стали определяем согласно [2] ГОСТ Р 52857.1-2007: допустимое напряжение, предел текучести, модуль упругости.

Рабочая температура холодного теплоносителя:

$$t_{хол} := 28 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Рабочая температура горячего теплоносителя:

$$t_{гор} := 70 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Материал корпуса 12X18Н10Т

Допускаемое напряжение материала 12X18Н10Т при температуре 20 градусов:

$$\sigma_{Д20} := 184 \text{ МПа}$$

Допускаемое напряжение материала 12X18Н10Т при рабочей температуре холодного теплоносителя:

$$\sigma_{Д28} := 183 \text{ МПа}$$

Допускаемое напряжение материала 12X18Н10Т при рабочей температуре горячего теплоносителя:

$$\sigma_{Д.70} := 178 \text{ МПа}$$

Плотность рабочей среды:

$$\rho_{ср} := 1805.13 \text{ кг/м}^3$$

Давление рабочее в межтрубном пространстве

$$P_{MT} := 0.22 \text{ МПа}$$

Давление рабочее в трубном пространстве

$$P_{тр} := 0.22 \text{ МПа}$$

Сварка аппарата полуавтоматическая, сварной шов стыковой односторонний, контролируемая длина сварных швов 100%

$$\phi := 1$$

Коэффициент запаса устойчивости

Для рабочих условий

$$n_y := 2.4$$

4.2.2. Прибавки к расчетным толщинам конструктивных элементов:

Прибавку к расчетным толщинам согласно [2, с.10]

Скорость коррозии материала от действия заданной среды:

$$П := 0.1 \text{ мм/год}$$

Срок эксплуатации аппарата:

$$\tau := 20 \text{ лет}$$

Прибавка для компенсации коррозии и эрозии:

$$c_1 := П \cdot \tau = 2 \text{ мм}$$

Прибавка для компенсации минусового допуска;

$$c_2 := 0 \text{ мм}$$

Технологическая прибавка;

$$c_3 := 0 \text{ мм}$$

Прибавки к расчетным толщинам конструктивных элементов:

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

4.2.3. Расчет давлений:

1.2.3.1. Давление в трубном пространстве:

Расчетное давление в трубном пространстве в рабочих условиях принято в соответствии с паспортом аппарата:

$$P_{рас1} := 1 \text{ МПа}$$

Давление при гидравлических испытаниях

$$P_{и1} := 1.25 \cdot P_{рас1} \cdot \left(\frac{\sigma_{Д20}}{\sigma_{Д28}} \right) = 1.257 \text{ МПа}$$

Условное давление

$$P_{усл1} := P_{рас1} \cdot \frac{\sigma_{Д20}}{\sigma_{Д28}} = 1.005 \text{ МПа}$$

1.2.3.3. Давление в межтрубном пространстве:

Расчетное давление:

$$P_{рас2} := 1 \text{ МПа}$$

Давление при гидравлических испытаниях

$$P_{и2} := 1.25 \cdot P_{рас2} \cdot \frac{\sigma_{Д20}}{\sigma_{Д.70}} = 1.292 \text{ МПа}$$

Условное давление

$$P_{усл2} := P_{рас2} \cdot \frac{\sigma_{Д20}}{\sigma_{Д.70}} = 1.034 \text{ МПа}$$

4.2.4. Расчет толщины стенок корпуса аппарата

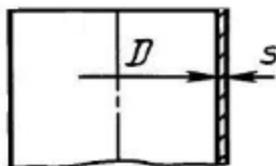


Рисунок 2.1. Расчетная схема обечайки аппарата

Согласно [5] ГОСТР52857.2-2007, определяем толщины стенок обечайки, днища, крышки,

проводим проверку на прочность стенок корпуса аппарата, рубашки.

4.2.5. Расчет толщины стенки цилиндрической обечайки:

Расчетная толщина стенки цилиндрической обечайки при внутреннем избыточном давлении:

$$s_{p1} := \max\left(\frac{P_{рас2} \cdot D}{2 \cdot \phi \cdot \sigma_{Д.70} - P_{рас2}}, \frac{P_{и2} \cdot D}{2 \cdot \phi \cdot \sigma_{Д20} - P_{и2}}\right) = 4.228 \text{ мм}$$

Исполнительная толщина стенки аппарата:

$$s_{и1} := s_{p1} + c = 4.228 \text{ мм}$$

Принимаем исполнительную толщину стенки с учётом ряда стандартных толщин

$$s_1 := 10 \text{ мм}$$

Проверка условий применимости формул безмоментной теории:

$$\text{Пров}_1 := \begin{cases} \text{"Условия применения формул выполняются"} & \text{if } \frac{s_1 - c}{D} \leq 0.1 \\ \text{"Условия применения формул НЕ выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{Пров}_1 = \text{"Условия применения формул выполняются"}$$

Допускаемого внутреннего избыточного давления:

$$P_{д1} := \frac{2 \cdot \sigma_{Д.70} \cdot \phi \cdot (s_1 - c)}{D + (s_1 - c)} = 2.942 \text{ МПа}$$

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

$$\text{Пров}_2 := \begin{cases} \text{"Условие прочности для цилиндрической обечайки выполняется"} & \text{if } P_{д1} > P_{и2} \\ \text{"Условие прочности НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{Пров}_2 = \text{"Условие прочности для цилиндрической обечайки выполняется"}$$

4.2.6. Расчет толщины стенки распределительной камеры

Расчетная толщина стенки распределительной камеры при внутреннем избыточном давлении:

$$s_{p2} := \max\left(\frac{P_{рас1} \cdot D}{2 \cdot \phi \cdot \sigma_{Д28} - P_{рас2}}, \frac{P_{и1} \cdot D}{2 \cdot \phi \cdot \sigma_{Д20} - P_{и1}}\right) = 4.112 \text{ мм}$$

Исполнительная толщина стенки распределительной камеры:

$$s_{и2} := s_{p2} + c = 4.112 \text{ мм}$$

Принимаем исполнительную толщину стенки по рекомендации ОСТ 26291-94 [6, с.59]

$$s_2 := 10 \text{ мм}$$

Проверка условий применимости формул:

$$\text{Пров}_3 := \begin{cases} \text{"Условие применения формул выполняется"} & \text{if } \frac{s_2 - c}{D} \leq 0.1 \\ \text{"Условие применения формул НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{Пров}_3 = \text{"Условие применения формул выполняется"}$$

Допускаемого внутреннего избыточного давления:

$$P_{д2} := \frac{2 \cdot \sigma_{Д28} \cdot \phi \cdot (s_2 - c)}{D + (s_2 - c)} = 3.025 \text{ МПа}$$

Проверка условия прочности стенок, распределительной камеры от действия внутреннего давления:

Пров_ц := $\begin{cases} \text{"Условие прочности для цилиндрической обечайки выполняется"} & \text{if } P_{д2} > P_{и1} \\ \text{"Условие прочности НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$

Пров_д = "Условие прочности для цилиндрической обечайки выполняется"

Толщина перегородки распределительной камеры:

$$s_{\text{перегородки}} = 10 \text{ мм}$$

4.2.7. Расчёт толщины стенки эллиптической крышки, нагруженной внутренним избыточным давлением межтрубного пространства

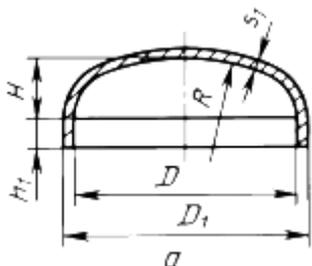


Рисунок 2.2. Основные размеры эллиптической крышки [2]

Радиус кривизны в вершине днища:

$$R := D$$

для эллиптических днищ с

$$H := 0.25D$$

$$H = 300 \text{ мм}$$

$$S_{p2} := \max\left(\frac{P_{рас2} \cdot R}{2 \cdot \phi \cdot \sigma_{Д28} - 0.5 P_{рас2}}, \frac{P_{и2} \cdot R}{2 \cdot \phi \cdot \sigma_{Д.70} - 0.5 P_{и2}}\right) = 4.363 \text{ мм}$$

$$s_{Э.к} := \text{ceil}(S_{p2} + c) = 5 \text{ мм}$$

Принимаем толщину стенки эллиптической крышки равной:

$$s_2 := 10 \text{ мм}$$

Проверка условия применения формул для эллиптической крышки :

Пров_в := $\begin{cases} \text{"условие применения формул выполняется"} & \text{if } 0.002 \leq \frac{s_{Э.к} - c}{D} \leq 0.1 \\ \text{"условие применя формул НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$

Пров_з = "условие применения формул выполняется"

Допускаемое внутреннее избыточное давление:

$$P_{доп.с} := \frac{2 \cdot (s_2 - c) \cdot \phi \cdot \sigma_{Д28}}{R + 0.5 \cdot (s_2 - c)} = 3.037 \text{ МПа}$$

Проверка условия прочности:

Пров_п := $\begin{cases} \text{"условие прочности выполняется"} & \text{if } P_{и2} \leq P_{доп.с} \\ \text{"условие прочности НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$

Пров_д = "условие прочности выполняется"

4.3. Расчет фланцевого соединения для фланцев кожуха аппарата

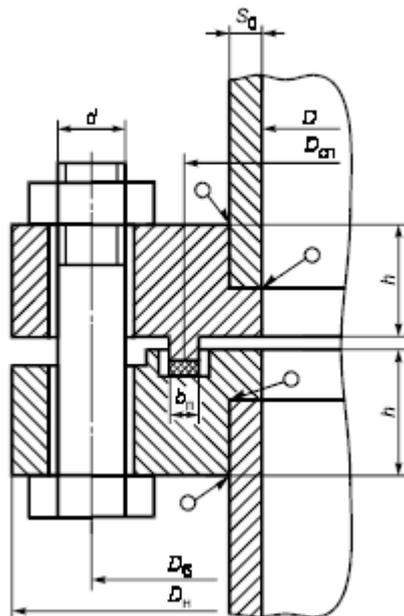


Рисунок 2.3. Фланцевое соединение с уплотнительной поверхностью типа шип-паз

Фланцы с уплотнительной поверхностью шип-паз рекомендуется применять для обеспечения герметичности аппарата при условном давлении среды до 2,5 МПа.

Исходные данные:

Материал обечаек и фланцев - сталь 12X18H10T

Материал шпилек - сталь 40X

Материал прокладки - паронит ПОН.

$D := 1200$ мм

$D_{\phi} := 1335$ мм

Рабочая температура

$t := 70$ °C

материал для шпилек: Сталь 40X

Допускаемое напряжение материала при рабочей температуре для шпилек:

$\sigma_{д.б} := 228.5$ МПа

Толщина прокладки

$h_{п} := 3$ мм

Диаметр шпильки (рекомендуемый) [9]

$d := 20$ мм

Ширина прокладки

$b_{п} := 25$ мм

Толщина втулки фланцев [9]

$S_0 := 8$ мм

Толщина тарелки фланца [9]

$h := 35$ мм

Диаметр окружности расположения болтов [9]

$D_б := 1388$ мм

Расчетный диаметр прокладки [9]

$$D_{\text{сп}} := 1267 \text{ мм}$$

Количество болтов [9]

$$n := 48$$

Толщина втулки фланца в месте присоединения к тарелке [9]

$$S_1 := 20 \text{ мм}$$

Длина конической втулки фланца [9]

$$l := 35 \text{ мм}$$

Расчетное давление

$$P := 1 \text{ МПа}$$

Прибавка на коррозию

$$c_o := 2 \text{ мм}$$

$$M := 0 \text{ Н*мм}$$

4.3.1. Определение расчетных параметров.

Расчетная температура неизолированных, приваренных в стык фланцев $t_f = 0,96 t$:

$$t_f := 0.96 \cdot t$$

$$t_f = 67.2$$

Расчетная температура шпилек:

$$t_{\sigma} := 0.85 \cdot t$$

$$t_{\sigma} = 59.5$$

Модуль упругости для стали 40Х при рабочей температуре:

$$E_{\sigma} := 2.15 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

$$E := 2.15 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

Допускаемое напряжение для стали 40Х при $t = 20$ °С:

$$\sigma_{20\sigma} := 230 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{20} := 196$$

Модуль упругости для стали 40Х при температуре испытания 20 °С:

$$E_{20\sigma} := 2.18 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

$$E_{20} := 2.15 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

Коэффициент линейного расширения стали 40Х при $t = 20 - 100$ °С:

$$K^{-1}$$

Для шпилек.

$$\alpha_{\sigma} := 11.8 \cdot 10^{-6} \text{ К}^{-1}$$

Для фланца.

$$\alpha_{\phi} := 11.8 \cdot 10^{-6} \text{ К}^{-1}$$

Для крышки:

$$\alpha_{\text{кр}} := 11.8 \cdot 10^{-6} \text{ К}^{-1}$$

$$\sigma_t := 169 \text{ МПа}$$

Так как фланцы изготавливаются из листового проката

$$\eta := 1$$

$$\sigma_{\text{д.ф}} := \eta \cdot \sigma_t$$

$$\sigma_{д.ф} = 169 \text{ МПа}$$

4.3.2. Расчет фланцевого соединения

Эффективная ширина плоской прокладки.

$$b_0 := \begin{cases} b_0 \leftarrow b_{\Pi} & \text{if } b_{\Pi} \leq 15 \\ b_0 \leftarrow \text{Ceil}(3.8 \cdot \sqrt{b_{\Pi}}, 1) & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$b_0 = 19$$

мм

Таблица 2.1. - Характеристики основных типов прокладок.

Тип и материал прокладки	Прокладочный коэффициент	Удельное давление обжатия прокладки $q_{обж}$, МПа	Допускаемое удельное давление q_d , МПа	Коэффициент обжатия, $K_{обж}$	Условный модуль сжатия прокладки, $E_{\Pi} \cdot 10^{-5}$, МПа
Плоская неметаллическая прокладка из:					
паронита по ГОСТ 481 при толщине не более 2—3 мм	2,5	20	130	0,9	0,02
фторопласта 4 по ТУ 6-05-810 при толщине 1—3 мм	2,5	10	40	1	0,02

По таблице 3.1, выбираем характеристики прокладки изготовленной из стали паронита по ГОСТ 481.

$$m := 2.5 \text{ - прокладочный коэффициент}$$

$$q_{обж} := 10 \text{ МПа - удельное давление обжатие прокладки}$$

$$q_d := 130 \text{ МПа - допускаемое удельное давление}$$

$$K_{обж} := 0.9 \text{ - коэффициент обжатия}$$

$$E_{\Pi} := 0.02 \cdot 10^5 \text{ МПа - условный модуль сжатия прокладки}$$

Усилие, необходимое для смятия прокладки при затяжке:

$$P_{обж} := 0.5\pi \cdot D_{с\pi} \cdot b_0 \cdot q_{обж}$$

$$P_{обж} = 3.781 \times 10^5 \text{ Н}$$

Усилие на прокладке в рабочих условиях, необходимое для обеспечения герметичности фланцевого соединения:

$$R_{\Pi} := \begin{cases} \pi \cdot D_{с\pi} \cdot b_0 \cdot m \cdot P & \text{if } P \geq 0 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$R_{\Pi} = 1.891 \times 10^5 \text{ Н}$$

Площадь поперечного сечений шпилек:

$$f_{\bar{c}} := 760 \text{ мм}^2$$

По ГОСТ 1759.0-87.

Суммарная площадь сечения шпилек по внутреннему диаметру резьбы или нагруженному сечению наименьшего диаметра:

$$A_{\bar{c}} := n \cdot f_{\bar{c}}$$

$$A_{\sigma} = 3.648 \times 10^4 \text{ мм}^2$$

Равнодействующая нагрузка от давления:

$$Q_{\text{д}} := \frac{\pi}{4} \cdot (D_{\text{сп}})^2 \cdot P$$

$$Q_{\text{д}} = 1.261 \times 10^6 \text{ Н}$$

Осевое сжимающие усилие

$$D_{\text{сп}} = 1.267 \times 10^3$$

$$F := - \left[0.6 \cdot \left[\frac{\pi \cdot \left(\frac{D}{1000} \right)^2}{4} \right] \cdot 10^6 \right] = -6.786 \times 10^5 \text{ Н}$$

Приведенная нагрузка, вызванная воздействием внешней силы и изгибающего момента:

$$Q_{\text{FM}} := \max \left(\left| F + \frac{4 \cdot |M|}{D_{\text{сп}}} \right|, \left| F - \frac{4 \cdot |M|}{D_{\text{сп}}} \right| \right) = 6.786 \times 10^5 \text{ Н}$$

Податливость прокладки:

$$y_{\text{п}} := \frac{h_{\text{п}} \cdot K_{\text{обж}}}{E_{\text{п}} \cdot \pi \cdot D_{\text{сп}} \cdot b_{\text{п}}}$$

$$y_{\text{п}} = 1.357 \times 10^{-8} \text{ мм/Н}$$

Расстояние между опорными поверхностями гаек:

$$L_{\text{б0}} := 68 \text{ мм}$$

Эффективная длина болта (шпильки) при определении податливости:

$$L_{\text{б}} := (L_{\text{б0}} + 0.56 \cdot d)$$

$$L_{\text{б}} = 79.2 \text{ мм}$$

Податливость шпилек:

$$y_{\text{б}} := \frac{L_{\text{б}}}{E_{20\text{б}} \cdot A_{\text{б}}}$$

$$y_{\text{б}} = 9.959 \times 10^{-9} \text{ мм/Н}$$

4.3.3. Расчетные параметры фланцев

параметр длины обечайки:

$$l_0 := \sqrt{D \cdot S_0}$$

$$l_0 = 97.98 \text{ мм}$$

Отношение наружного диаметра тарелки фланца к внутреннему диаметру:

$$K := \frac{D_{\text{ф}}}{D}$$

$$K = 1.113$$

Коэффициенты, зависящие от соотношения размеров тарелки фланца:

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

$$\beta_{\text{T}} = 1.871$$

$$\beta_{\text{U}} := \frac{K^2 \cdot (1 + 8.55 \cdot \log(K)) - 1}{1.36(K^2 - 1) \cdot (K - 1)}$$

$$\beta_U = 20.01$$

$$\beta_Y := \frac{1}{(K-1)} \cdot \left[0.69 + 5.72 \cdot \frac{K^2 \cdot \log(K)}{(K^2-1)} \right]$$

$$\beta_Y = 18.393$$

$$\beta_Z := \frac{K^2 + 1}{K^2 - 1}$$

$$\beta_Z = 9.416$$

Коэффициенты для фланцевых соединений, зависящие от соотношения размеров втулки фланца, для фланцевых соединений с приварными встык фланцами с конической втулкой определяем по графикам:

В зависимости от отношений:

$$\beta := \frac{S_1}{S_0} = 2.5$$

$$x := \frac{1}{\sqrt{D \cdot S_0}} = 0.357$$

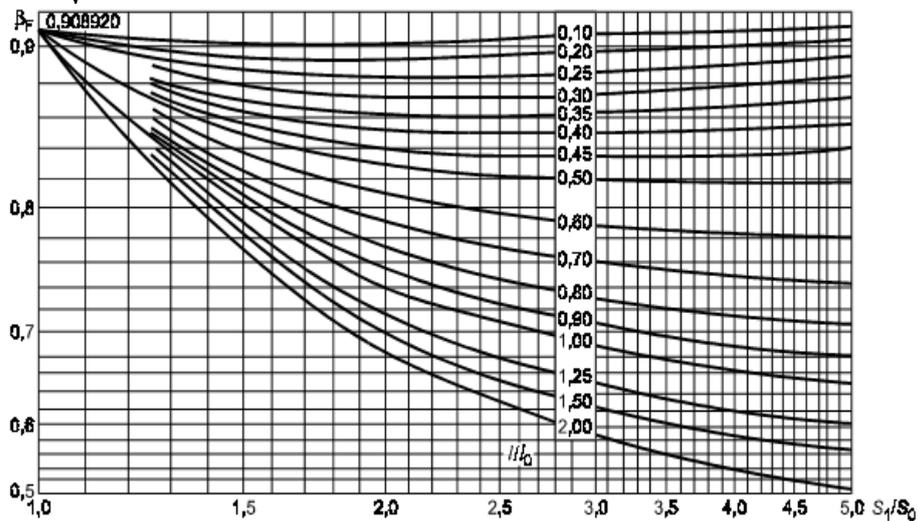


Рисунок 2.4. Определению коэффициента β_F

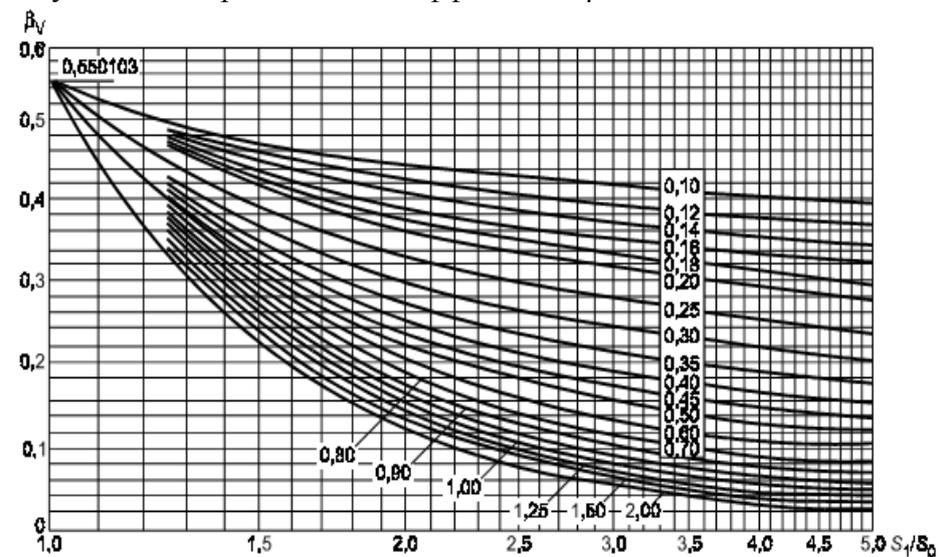


Рисунок 2.5. Определению коэффициента β_V

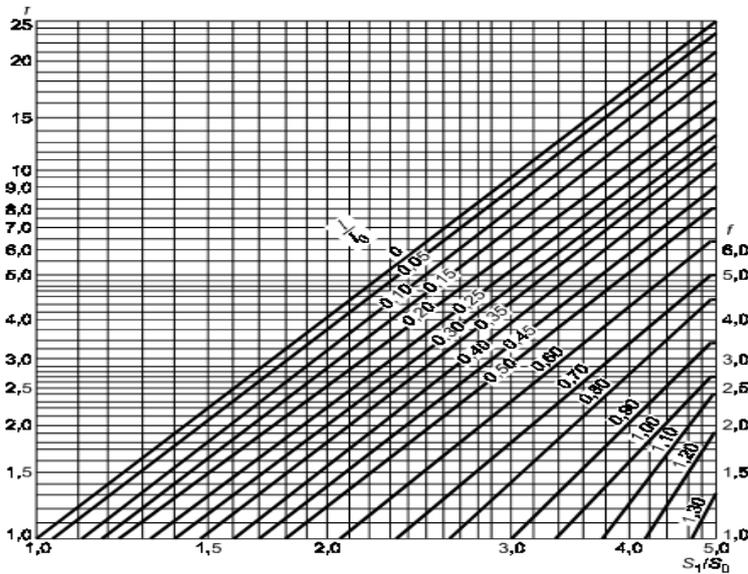


Рисунок 2.6. Поправочный коэффициент для напряжений во втулке фланца
Из рисунков определяем коэффициенты β_F и β_V и поправочный коэффициент f :

$$\beta_F := 0.85$$

$$\beta_V := 0.22$$

$$f := 2$$

Коэффициент λ :

$$\lambda := \frac{\beta_F \cdot h + l_0}{\beta_T \cdot l_0} + \frac{\beta_V \cdot h^3}{\beta_U \cdot l_0 \cdot (S_0)^2} = 0.772$$

4.3.4. Угловая податливость фланцев

Угловая податливость фланца при затяжке:

$$y_\phi := \frac{0.91 \cdot \beta_V}{E_{20} \cdot \lambda \cdot l_0 \cdot (S_0)^2}$$

$$y_\phi = 1.923 \times 10^{-10}$$

Угловая податливость фланца, нагруженного внешним изгибающим моментом:

$$y_{\phi H} := \left(\frac{\pi}{4}\right)^3 \cdot \frac{D_\phi}{E_{20} \cdot h^3 \cdot D_\phi}$$

$$y_{\phi H} = 5.464 \times 10^{-11}$$

Угловую податливость плоской крышки вычисляют по формуле:

$$h_{кр} := 50$$

$$\delta_{кр} := 39$$

Где

$$K_{кр} := \frac{D_\phi}{D_{сп}} = 1.054$$

$$X_{кр} := 0.67 \cdot \frac{\left[K_{кр}^2 \cdot (1 + 8.55 \cdot \log(K_{кр})) - 1 \right]}{(K_{кр} - 1) \cdot \left[K_{кр}^2 - 1 + (1.857 \cdot K_{кр}^2 + 1) \cdot \frac{h_{кр}^3}{\delta_{кр}} \right]} = 4.144 \times 10^{-4}$$

$$y_{кр} := \frac{X_{кр}}{\delta_{кр}^3 \cdot E_{20}} = 3.249 \times 10^{-14}$$

Коэффициент, учитывающий изгиб тарелки фланца между шпильками:

$$C_F := \max \left[1, \sqrt{\frac{\pi \cdot D_{\phi}}{n \cdot \left(2 \cdot d + \frac{6 \cdot h}{m + 0.5} \right)}} \right]$$

$$C_F = 1$$

Приведенный диаметр плоского фланца:

$$D' := D$$

т.к.

$$D \geq 20 \cdot S_1 = 1$$

Плечо действия усилий в шпильках для приварных встык фланцев:

$$b := 0.5(D_{\phi} - D_{сп})$$

$$b = 60.5$$

Плечо усилия от действия давления на фланец для всех типов фланцев:

$$e := 0.5 \cdot (D_{сп} - D - S_0)$$

$$e = 29.5$$

Эквивалентная толщина плоских фланцев:

$$\xi := 1 + (\beta - 1) \cdot \frac{x}{x + \frac{1 + \beta}{4}} = 1.435$$

$$S_9 := \xi \cdot S_0 = 11.479$$

Коэффициент жесткости фланцевого соединения для соединения фланца с крышкой:

$$\gamma := \frac{1}{y_{\Pi} + y_{\phi} \cdot \frac{E_{20\phi}}{E_{\phi}} + b^2 \cdot \left(y_{\phi} \cdot \frac{E_{20}}{E} + y_{кр} \cdot \frac{E_{20}}{E} \right)}$$

$$\gamma = 1.374 \times 10^6$$

Коэффициент жесткости фланцевого соединения, нагруженного внутренним давлением или внешней осевой силой для соединения фланца с плоской прокладной крышкой:

$$\alpha := 1 - \frac{y_{\Pi} - (e \cdot y_{\phi} + y_{кр} \cdot b) \cdot b}{y_{\Pi} + y_{\phi} + b^2 \cdot (y_{\phi} + y_{кр})}$$

$$\alpha = 1.453$$

Коэффициент жесткости фланцевого соединения, нагруженного внешним изгибающим моментом:

$$\alpha_M := \frac{y_{\phi} + 2 \cdot y_{\phi n} \cdot b \cdot \left(b + e - \frac{e^2}{D_{сп}} \right)}{y_{\phi} + y_{\Pi} \cdot \left(\frac{D_{\phi}}{D_{сп}} \right)^2 + 2 \cdot y_{\phi n} \cdot b^2}$$

$$\alpha_M = 1.409$$

Нагрузка, вызванная стесненностью температурных деформаций, в соединениях с приварными встык и плоскими фланцами:

$$t_{кр} := t = 70$$

$$Q_t := \gamma \cdot [2\alpha_f \cdot h \cdot (t_f - 20) + \alpha_{кр} \cdot h_{кр} \cdot (t_{кр} - 20) - \alpha_b \cdot (h + h_{кр}) \cdot (t_b - 20)]$$

$$Q_t = 3.967 \times 10^4 \text{ Н}$$

Расчетная нагрузка на шпильки при затяжке, необходимая для обеспечения в рабочих условиях давления на прокладку, достаточного для герметизации фланцевого соединения:

$$Q_d = 1.261 \times 10^6$$

$$P_{б1} := \max \left[\begin{array}{l} \alpha \cdot (Q_d + F) + R_{п} + \frac{4 \cdot \alpha_M \cdot |M|}{D_{сп}} \\ \alpha \cdot (Q_d + F) + R_{п} + \frac{4 \cdot \alpha_M \cdot |M|}{D_{сп}} - Q_t \end{array} \right]$$

$$P_{б1} = 1.035 \times 10^6 \text{ Н}$$

Расчетная нагрузка на шпильки при затяжке, необходимая для обеспечения обжатия прокладки и минимального начального натяжения шпилек:

$$P_{б2} := \max(P_{обж}, 0.4 \cdot A_b \cdot \sigma_{20б})$$

$$P_{обж} = 3.781 \times 10^5$$

$$P_{обж} = 3.781 \times 10^5 \text{ Н}$$

$$P_{б2} = 3.356 \times 10^6 \text{ Н}$$

Расчетная нагрузка на шпильки фланцевых соединений при затяжке фланцевого соединения:

$$P_{бм} := \max(P_{б1}, P_{б2})$$

$$P_{бм} = 3.356 \times 10^6 \text{ Н}$$

Расчетная нагрузка на болты (шпильки) фланцевых соединений в рабочих условиях:

$$P_{бр} := P_{бм} + (1 - \alpha) \cdot (Q_d + F) + Q_t + \frac{4 \cdot (1 - \alpha_M) \cdot |M|}{D_{сп}}$$

$$P_{бр} = 3.132 \times 10^6 \text{ Н}$$

4.3.5. Проверка прочности шпилек и прокладки

Расчетные напряжения в шпильках:

при затяжке:

$$\sigma_{б1} := \frac{P_{бм}}{A_b}$$

$$\sigma_{б1} = 92 \text{ МПа}$$

в рабочих условиях:

$$\sigma_{б2} := \frac{P_{бр}}{A_b}$$

$$\sigma_{б2} = 85.853 \text{ МПа}$$

Проверка условий прочности шпилек при затяжке и в рабочих условиях:

$$Us1_1 := \begin{cases} \text{"Условия прочности в при затяжке НЕ выполняются"} & \text{if } \sigma_{б1} > \sigma_{20б} \\ \text{"Условия прочности в рабочих условиях НЕ выполняются"} & \text{if } \sigma_{б2} > \sigma_{д.б} \\ \text{"Условия прочности выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Usl_1 = "Условия прочности выполняются"

$$\sigma_{62} = 85.853 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{61} = 92 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{д.б} = 228.5 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{20б} = 230 \text{ МПа}$$

Удельное давление на прокладку:

$$q := \frac{\max(P_{6M}, P_{6P})}{\pi \cdot D_{сП} \cdot b_{П}}$$

$$q = 33.727 \text{ МПа}$$

Условие прочности прокладки (проверяется для мягких прокладок):

$$Usl_2 := \begin{cases} \text{"Условие прочности прокладки НЕ выполняется"} & \text{if } q > q_d \\ \text{"Условие прочности прокладки выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Usl_2 = "Условие прочности прокладки выполняется"

4.3.6. Расчет фланцев на статическую прочность

Расчетный изгибающий момент, действующий на приварной встык фланца при затяжке:

$$M_M := C_F \cdot P_{6M} \cdot b$$

$$M_M = 2.03 \times 10^8 \text{ Н*мм}$$

Расчетный изгибающий момент, действующий на фланец в рабочих условиях:

$$M_P := C_F \cdot \max[P_{6P} \cdot b + (Q_d + Q_{FM}) \cdot e, |Q_d + Q_{FM}| \cdot e]$$

$$M_P = 2.467 \times 10^8 \text{ Н*мм}$$

Расчетные напряжения во фланце при затяжке:

Меридиональное изгибное напряжение во втулке приварного встык фланца, обечайке плоского фланца:

$$\sigma_{0M} := \frac{f \cdot M_M}{\lambda \cdot (S_1 - c_0)^2 \cdot D'} \div 10$$

$$\sigma_{0M} = 135.29 \text{ МПа}$$

Напряжения в тарелке приварного встык фланца или плоского фланца в условиях затяжки:

радиальное напряжение:

$$\sigma_{RM} := \frac{1.33 \cdot \beta_F \cdot h + l_0}{\lambda \cdot h^2 \cdot l_0 \cdot D} \cdot M_M$$

$$\sigma_{RM} = 251.167 \text{ МПа}$$

окружное напряжение:

$$\sigma_{TM} := \frac{\beta_Y \cdot M_M}{h^2 \cdot D} - \beta_Z \cdot \sigma_{RM}$$

$$\sigma_{TM} = 175.708 \text{ МПа}$$

Расчетные напряжения во фланце в рабочих условиях:

Меридиональные изгибные напряжения для приварных встык фланцев с прямой втулкой и плоских фланцев:

$$\sigma_{0p} := \frac{f \cdot M_p}{\lambda \cdot (S_1 - c_o)^2 \cdot D'}$$

$$\sigma_{0p} = 1.644 \times 10^3 \text{ МПа}$$

Максимальные меридиональные мембранные напряжения в обечайке плоского фланца:

$$\sigma_{0\text{ммр}} := \max \left[\frac{Q_d + F + \frac{4|M|}{D_{\text{сп}}}}{\pi \cdot (D + S_0) \cdot (S_0 - c_o)}, \frac{Q_d + F - \frac{4|M|}{D_{\text{сп}}}}{\pi \cdot (D + S_0) \cdot (S_0 - c_o)} \right]$$

$$\sigma_{0\text{ммр}} = 25.569 \text{ МПа}$$

Максимальные меридиональные мембранные напряжения в обечайке плоского фланца:

$$\sigma_{0\text{мор}} := \frac{P \cdot D}{2 \cdot (S_0 - c_o)} = 100 \text{ МПа}$$

Напряжения в тарелке приварного встык фланца или плоского фланца в рабочих условиях:

радиальное напряжение:

$$\sigma_{Rp} := \frac{1.33 \cdot \beta_F \cdot h + l_0}{\lambda \cdot h^2 \cdot l_0 \cdot D} \cdot M_p$$

$$\sigma_{Rp} = 305.155 \text{ МПа}$$

окружное напряжение:

$$\sigma_{Tp} := \frac{\beta_Y \cdot M_p}{h^2 \cdot D} - \beta_Z \cdot \sigma_{Rp}$$

$$\sigma_{Tp} = 213.476 \text{ МПа}$$

4.3.7. Проверка углов поворота фланцев

Угол поворота приварного встык фланца, плоского фланца:

$$\Theta := M_p \cdot y_{\phi} \cdot \frac{E_{20}}{E}$$

$$\Theta = 0.047$$

Допустимый угол поворота плоского фланца

Допускаемый угол поворота приварного встык фланца принимаем 0.007

$$\Theta_d := 0.07$$

$$Usl_P := \begin{cases} \text{"Условие при испытаниях НЕ выполняется"} & \text{if } \Theta > 1.3 \cdot \Theta_d \\ \text{"Условие в рабочих условиях НЕ выполняется"} & \text{if } \Theta > \Theta_d \\ \text{"Условие поворота плоского фланца выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$Usl_P = \text{"Условие поворота плоского фланца выполняется"}$$

4.4. Расчет штуцеров

4.4.1. Технологический расчет штуцеров

Диаметр входного и выходного патрубка для холодного теплоносителя:

$$d_{\text{хол}} := 300 \text{ мм}$$

Диаметр входного и выходного патрубка для горячего теплоносителя:

$$d_{\text{гор}} := 300 \text{ мм}$$

Материал для патрубков назначаем конструктивно: 09Г2С (корпус аппарата изготовлен из

такого же материала, используя один и тот же материал мы избегаем увеличения скорости коррозии)

Рабочая температура холодного теплоносителя:

$$t_{\text{хол}} = 28 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Рабочая температура горячего теплоносителя:

$$t_{\text{гор}} = 70 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Длину патрубка назначаем конструктивно (чтобы было легко монтировать аппарат, и не было трудностей при его транспортировке)

Длина патрубка для горячего теплоносителя:

$$l_{\text{гор}} := 260 \text{ мм}$$

Длина патрубка для холодного теплоносителя:

$$l_{\text{хол}} := 260 \text{ мм}$$

4.4.2. Расчет толщины стенки патрубка холодного теплоносителя

Расчетная толщина стенки патрубка холодного теплоносителя при внутреннем избыточном давлении, согласно [5]:

$$s_{p4} := \max\left(\frac{P_{\text{рас1}} \cdot d_{\text{хол}}}{2 \cdot \phi \cdot \sigma_{\text{Д28}} - P_{\text{рас1}}}, \frac{P_{\text{и1}} \cdot d_{\text{хол}}}{2 \cdot \phi \cdot \sigma_{\text{Д20}} - P_{\text{и1}}}\right) = 1.107$$

мм

Исполнительная толщина стенки патрубка:

$$s_{\text{и4}} := s_{p4} + c = 3.107 \text{ мм}$$

Принимаем толщину патрубка:

$$s_{\text{штуц. Ду300}} = 10 \text{ мм}$$

Проверка условий применимости формул безмоментной теории:

$$\text{Пров1} := \begin{cases} \text{"Условия применения формул выполняются"} & \text{if } \frac{s_{\text{штуц. Ду300}} - c}{d_{\text{хол}}} \leq 0.1 \\ \text{"Условия применения формул НЕ выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Пров1 = "Условия применения формул выполняются"

Расчет допускаемого внутреннего избыточного давления:

$$P_{\text{д4}} := \frac{2 \cdot \sigma_{\text{Д28}} \cdot \phi \cdot (s_{\text{штуц. Ду300}} - c)}{d_{\text{хол}} + (s_{\text{штуц. Ду300}} - c)} = 8.831 \text{ МПа}$$

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

$$\text{Пров2} := \begin{cases} \text{"Условие прочности стенки для патрубка хол. теп. выполняется"} & \text{if } P_{\text{д4}} > P_{\text{и2}} \\ \text{"Условие прочности НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Пров2 = "Условие прочности стенки для патрубка хол. теп. выполняется"

4.4.3. Расчет толщины стенки патрубка горячего теплоносителя

Расчетная толщина стенки патрубка горячего теплоносителя, согласно [5]:

$$s_{p5} := \max\left(\frac{P_{\text{рас2}} \cdot d_{\text{гор}}}{2 \cdot \phi \cdot \sigma_{\text{Д70}} - P_{\text{рас2}}}, \frac{P_{\text{и2}} \cdot d_{\text{гор}}}{2 \cdot \phi \cdot \sigma_{\text{Д20}} - P_{\text{и2}}}\right) = 1.141 \text{ мм}$$

Исполнительная толщина стенки патрубка:

$$s_{\text{и5}} := s_{p5} + c = 3.141 \text{ мм}$$

Принимаем толщину патрубка:

$$s_{\text{штуц. Ду300}} = 10 \text{ мм}$$

Проверка условий применимости формул безмоментной теории:

$$\text{Пров3} := \begin{cases} \text{"Условия применения формул выполняются"} & \text{if } \frac{s_{\text{штуц.Ду300}} \cdot c}{d_{\text{гор}}} \leq 0.1 \\ \text{"Условия применения формул НЕ выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Пров3 = "Условия применения формул выполняются"

Расчет допускаемого внутреннего избыточного давления:

$$P_{\text{д5}} := \frac{2 \cdot \sigma_{\text{Д.70}} \cdot \phi \cdot (s_{\text{штуц.Ду300}} - c)}{d_{\text{гор}} + (s_{\text{штуц.Ду300}} - c)} = 8.571 \text{ МПа}$$

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

$$\text{Пров4} := \begin{cases} \text{"Условие прочности стенки патрубка гор. тепло. выполняется"} & \text{if } P_{\text{д5}} > P_{\text{и2}} \\ \text{"Условие прочности НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Пров4 = "Условие прочности стенки патрубка гор. тепло. выполняется"

4.5. Укрепление отверстий патрубков

Расчетный диаметр укрепляемых элементов:

Для цилиндрической оболочки:

$$D_p := D = 1.2 \times 10^3 \text{ мм}$$

Расчетный диаметр отверстий в стенках обечайки, ось которого совпадает с нормалью к поверхности:

$$d_{\text{рхол}} := d_{\text{хол}} + 2 \cdot c = 304 \text{ мм}$$

$$d_{\text{ргор}} := d_{\text{гор}} + 2 \cdot c = 304 \text{ мм}$$

Расчетные длины внешней части круглого штуцера, участвующие в укреплении отверстий и учитываемые при расчете, определяют по формулам:

Расчетная длина внешней части штуцеров:

$$l_{1\text{хол}} := 1.25 \cdot \sqrt{(d_{\text{хол}} + 2 \cdot c) \cdot (s_{\text{штуц.Ду300}} - c)} = 61.644 \text{ мм}$$

$$l_{1\text{гор}} := 1.25 \cdot \sqrt{(d_{\text{гор}} + 2 \cdot c) \cdot (s_{\text{штуц.Ду300}} - c)} = 61.644 \text{ мм}$$

4.5.1. Укрепление отверстий штуцеров.

Укрепление отверстий производим с помощью накладного кольца, толщина которого равняется толщине обечайки.

-для цилиндрической обечайки:

$$s_{2.\text{цилиндр.обеч}} = s_1 = 10 \text{ мм} - \text{толщина накладного кольца.}$$

4.6. Расчетные длины штуцеров

Расчетные длины внешней и внутренней части круглого штуцера, участвующие в укреплении отверстий.

l_1 := 260 мм - принимаем исполнительную длину внешней части штуцера;

l_2 := 50 мм - принимаем исполнительную длину внутренней части штуцера;

-для штуцера Ду300:

$$l_{1\text{р.штуц.Ду300}} := \min \left[l_1, 1.25 \cdot \sqrt{(d_{\text{рхол}} + 2c_1) \cdot (s_{\text{штуц.Ду300}} - c_1)} \right] = 62.048 \text{ мм}$$

$$l_{2\text{р.штуц.Ду300}} := \min \left[l_2, 0.5 \cdot \sqrt{(d_{\text{рхол}} + 2c_1) \cdot (s_{\text{штуц.Ду300}} - c_1)} \right] = 24.819 \text{ мм}$$

Принимаем:

$$l_{1.\text{штуц.Ду300}} = \text{ceil}(\max(l_{1\text{р.штуц.Ду300}}, l_1)) = 260 \text{ мм.}$$

$$l_{2.\text{штуц.Ду300}} = \text{ceil}(\max(l_{2\text{р.штуц.Ду300}}, l_2)) = 50 \text{ мм.}$$

Расчетный диаметр одиночного отверстия, не требующий дополнительного укрепления, при наличии избыточной толщины стенки сосуда:

$$d_{0\text{хол}} := 2 \cdot \left(\frac{s_{\text{штуц.Ду300}^c}{s_{p4}} - 0.8 \right) \cdot \sqrt{D_p \cdot (s_{\text{штуц.Ду300}^c)} = 1.259 \times 10^3 \text{ мм}$$

$$d_{0\text{гор}} := 2 \cdot \left(\frac{s_{\text{штуц.Ду300}^c}{s_{p5}} - 0.8 \right) \cdot \sqrt{D_p \cdot (s_{\text{штуц.Ду300}^c)} = 1.218 \times 10^3 \text{ мм}$$

Проверка необходимости проведения расчета на укрепления отверстий для штуцеров холодного теплоносителя:

Пров5 := $\begin{cases} \text{"Расчет укрепления отверстия штуцера не требуется"} & \text{if } d_{p\text{хол}} < d_{0\text{хол}} \\ \text{"Необходимо укрепления отверстия штуцера"} & \text{otherwise} \end{cases}$

Пров5 = "Расчет укрепления отверстия штуцера не требуется"

Проверка необходимости проведения расчета на укрепления отверстий для штуцеров горячего теплоносителя:

Пров6 := $\begin{cases} \text{"Расчет укрепления отверстия штуцера не требуется"} & \text{if } d_{p\text{гор}} < d_{0\text{гор}} \\ \text{"Необходимо укрепления отверстия штуцера"} & \text{otherwise} \end{cases}$

Пров6 = "Расчет укрепления отверстия штуцера не требуется"

4.6.1. Расчетная ширина зоны укрепления

Ширина зоны укрепления в обечайках:

-для цилиндрической обечайки:

$$L_{0.\text{цилиндр}} := \sqrt{D \cdot (s_1 - c_1)} = 97.98 \text{ мм.}$$

В случае укрепления накладным кольцом, ширина зоны укрепления принимается:

-для цилиндрической рубашки:

$$l_{p.\text{цилиндр}} := L_{0.\text{цилиндр}} = 97.98 \text{ мм}$$

Отношения допускаемых напряжений.

Исходя из условия, что внешняя часть штуцера и накладное кольцо состоят из одно и то же материала, что и рубашка.

Принимаем:

-для внешней части штуцера

$$\sigma_1 := \sigma_{Д.70} = 165 \text{ МПа;}$$

$$\chi_1 := \min \left(1, \frac{\sigma_1}{\sigma_{Д.70}} \right) = 1$$

-для накладного кольца

$$\sigma_2 := \sigma_{Д.70} = 165 \text{ МПа;}$$

$$\chi_2 := \min \left(1, \frac{\sigma_2}{\sigma_{Д.70}} \right) = 1$$

-для внутренней части штуцера

$$\sigma_3 := \sigma_{Д.70} = 165 \text{ МПа;}$$

$$\chi_3 := \min \left(1, \frac{\sigma_3}{\sigma_{Д.70}} \right) = 1$$

4.6.2. Расчет диаметра отверстия не требующего укрепления

-для цилиндрической обечайки:

$$d_{ор.\text{цилиндр}} := 0.4 \cdot \sqrt{D \cdot (s_1 - c_1)} = 39.192 \text{ мм [8].}$$

Условие укрепления одиночных отверстий.

В случае укрепления отверстия утолщением стенки сосуда или штуцера либо накладным кольцом, торообразной вставкой, сварным кольцом.

Принимаем укрепление штуцеров накладным кольцом.

-для штуцера Ду300 мм:

$$A''_1 := l_{\text{р.штуц.Ду300}}(s_{\text{штуц.Ду300}} - s_{\text{и4}} - c_1) \cdot \chi_1 = 303.602 \text{ мм}$$

$$A''_3 := l_{\text{р.штуц.Ду300}}(s_{\text{штуц.Ду300}} - s_{\text{и4}} - c_1) \cdot \chi_3 = 121.441 \text{ мм}$$

$$A''_4 := l_{\text{р.цилиндр}}(s_1 - s_{\text{р1}} - c_1) = 336.782 \text{ мм}$$

$$A''_5 := 0.5(d_{\text{хол}} - d_{\text{ор.цилиндр}}) \cdot s_1 = 1.304 \times 10^3 \text{ мм}$$

Определяем площадь "А`2" накладного кольца по формуле:

Given

$$A''_2 = \frac{1}{\chi_2} \cdot (A''_5 - A''_1 - A''_3 - A''_4)$$

$$A''_{2.\text{расч}} := \text{Find}(A''_2, 1) \rightarrow 542.21649465408316 \text{ мм}^2;$$

Расчетную ширину накладного кольца "l₂" рассчитывают (при условии что толщина накладного кольца **S₂**, равна толщине стенки обечайки и эллиптического днища) по формуле:

-для цилиндрической рубашки:

s_{2.цилиндр.обеч} = 10 мм - толщина накладного кольца.

$$l_{\text{р.штуц.Ду300}} = \frac{A''_{2.\text{расч}}}{s_{2.\text{цилиндр.обеч}}} = 54.222$$

Принимаем:

$$l_{\text{р.штуц.Ду300}} = 40 \text{ мм.}$$

Отсюда,

$$A''_2 := l_{\text{р.штуц.Ду300}} \cdot s_{2.\text{цилиндр.обеч}} \cdot \chi_2 = 400 \text{ мм}^2$$

$$\text{Усл}_{\text{укр}} := \begin{cases} \text{"Условие выполняется"} & \text{if } A''_1 + A''_2 + A''_3 + A''_4 \geq A''_5 \\ \text{"Требуется увел. толщ. стенки сосуда или штуцера либо накл. кольца"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Усл_{укр} = "Требуется увел. толщ. стенки сосуда или штуцера либо накл. кольца"

Так как условие укрепления не выполняется, увеличиваем толщину накладного кольца

$$s_{2'.\text{цилиндр.обеч}} = s_{2.\text{цилиндр.обеч}} + 2 \text{ мм}$$

$$A_{1_300} := l_{\text{р.штуц.Ду300}}(s_{\text{штуц.Ду300}} - s_{\text{и4}} - c_1) \cdot \chi_1 = 303.602 \text{ мм}$$

$$A_{2_300} := l_{\text{р.цилиндр}} s_{2'.\text{цилиндр.обеч}} \cdot \chi_2 = 1.176 \times 10^3 \text{ мм}$$

$$A_{3_300} := l_{\text{р.штуц.Ду300}}(s_{\text{штуц.Ду300}} - s_{\text{и4}} - c_1) \cdot \chi_3 = 195.72 \text{ мм}$$

$$A_{4_300} := l_{\text{р.цилиндр}}(s_1 - s_{\text{р1}} - c_1) = 336.782 \text{ мм}$$

$$A_{5_300} := 0.5(d_{\text{хол}} - d_{\text{ор.цилиндр}}) \cdot s_1 = 1.304 \times 10^3 \text{ мм}$$

$$\text{Усл}_{\text{укр1}} := \begin{cases} \text{"Условие выполняется"} & \text{if } A_{1_300} + A_{2_300} + A_{3_300} + A_{4_300} \geq A_{5_300} \\ \text{"Требуется увел. толщ. стенки сосуда или штуцера либо накл. кольца"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Усл_{укр1} = "Условие выполняется"

-для внешней части штуцера горячего теплоносителя

$$\sigma_{\text{Д.70}} := \sigma_{\text{Д.70}} = 165 \text{ МПа};$$

$$\chi_{1.1} := \min\left(1, \frac{\sigma_1}{\sigma_{\text{Д.70}}}\right) = 1$$

-для накладного кольца

$$\sigma_2 := \sigma_{Д28} = 170 \text{ МПа};$$

$$\chi_2 := \min\left(1, \frac{\sigma_2}{\sigma_{Д.70}}\right) = 1$$

-для внутренней части штуцера

$$\sigma_3 := \sigma_{Д28} = 170 \text{ МПа};$$

$$\chi_3 := \min\left(1, \frac{\sigma_3}{\sigma_{Д.70}}\right) = 1$$

4.7. Расчет трубной решетки

Принимаем длину труб аппарата равной 6 метрам согласно [15, стр. 51]

Поскольку в исходных данных не были указаны параметры для расчета конструктивных размеров аппарата, а именно длины труб, площади поперечного сечения, число труб в аппарате. Задаем сами этими параметрами, исходя из конструктивных соображений.

$$l_{\text{труб}} := 6000 \text{ мм}$$

Число труб:

$$n_{\text{тр}} := 1048 \text{ трубы}$$

Для трубной решетки используем материал 10X17H13M2T

Допускаемое напряжение трубной решетки:

$$\sigma_{\text{реш34}} := 160 \text{ МПа}$$

Модуль упругости:

$$E_{\text{реш70}} := 186 \cdot 10^3 \text{ МПа}$$

Для труб используется материал: 10X17H13M2T

Допускаемое напряжение трубного пучка:

$$\sigma_{\text{тр}} := 145.6 \text{ МПа}$$

Модуль упругости:

$$E_{\text{тр5}} := 208.7 \cdot 10^3 \text{ МПа}$$

Внутренний диаметр аппарата:

$$D := 1200 \text{ мм}$$

Диаметр трубы внутренний:

$$d_{\text{тр}} := 21 \text{ мм}$$

Толщина стенки трубы:

$$s_{\text{тр}} := 2 \text{ мм}$$

Диаметр отверстия в решетке:

$$d_0 := 26 \text{ мм}$$

Диаметр трубы наружный:

$$d_{\text{нр}} := 25 \text{ мм}$$

Внутренний радиус кожуха:

$$a := \frac{D}{2} = 600 \text{ мм}$$

Расстояние от оси кожуха до оси наиболее удаленной трубы:

$$a_1 := 468 \text{ мм}$$

4.7.1. Расчет трубной решетки: согласно ГОСТ Р 52857.7-2007

Относительную характеристику беструбного края трубной решетки:

$$m_n := \frac{a}{a_1} = 1.282$$

Шаг расположения труб. Трубы располагаются по правильному шестиграннику:

$$t := 1.2 \cdot d_{\text{нр}} + 2 = 32 \text{ мм}$$

Эффективный диаметр отверстия в трубной решетке или задней стенке для решеток с трубами, закреплёнными на всю толщину решетки, мм

$$d_E := d_0 - s_{\text{тр}} = 24 \text{ мм}$$

Эффективный коэффициент ослабления

$$\phi_E := 1 - \frac{d_E}{t} = 0.25$$

Коэффициент прочности решетки:

$$\phi_p := \frac{t - 21}{t} = 0.344$$

Толщина трубной решетки:

$$s_{p11} := \frac{D_{\text{сп}}}{3.4} \cdot \sqrt{\frac{P_{\text{рас1}}}{\phi_E \cdot \sigma_{\text{реш34}}}} = 58.921 \text{ мм}$$

Принимаем толщину трубной решетки:

$$s_p := 60 \text{ мм}$$

Коэффициенты влияния давления на трубную решетку вычисляют по формулам:

- со стороны межтрубного пространства:

$$\eta_M := 1 - \frac{n_{\text{тр}} \cdot d_{\text{нр}}^2}{4 \cdot a_1^2} = 0.252$$

- со стороны трубного пространства:

$$\eta_T := 1 - \frac{n_{\text{тр}} \cdot (d_{\text{нр}} - 2 \cdot s_{\text{тр}})^2}{4 \cdot a_1^2} = 0.472$$

Основные характеристики жесткости элементов теплообменного аппарата.

Модуль упругости основания (системы труб) вычисляют по формуле

$$K_y := \frac{E_{\text{тр5}} (\eta_T - \eta_M)}{l_{\text{труб}}} = 7.656 \frac{\text{Н}}{\text{мм}^3}$$

Модуль упругости кожуха при температуре 70 градусов:

$$E_{\text{кож}} := 206.9 \cdot 10^3 \text{ МПа}$$

Приведенное отношение жесткости труб к жесткости кожуха вычисляют по формуле

$$\rho := \frac{K_y \cdot a_1 \cdot l_{\text{труб}}}{E_{\text{кож}} \cdot s_1} = 10.39$$

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

$$K_{1p} := 0$$

$$K_{1q} := 0$$

K_q - коэффициент изменения жесткости системы трубы - кожух при действии осевой силы;

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

K_p - коэффициент изменения жесткости системы трубы - кожух при действии давления;

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

Коэффициент жесткости перфорированной плиты ψ_0

$$\eta_T = 0.472$$

Таблица. 2.2. Коэффициент жесткости перфорированной плиты ψ_0

η_T	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

$$\eta_{T_таб} := \begin{pmatrix} 0.4 \\ 0.45 \end{pmatrix}$$

$$\psi_{0_таб} := \begin{pmatrix} 0.12 \\ 0.15 \end{pmatrix}$$

$$\psi_0 := \text{Floor}[\text{Interp}[\eta_{T_таб}, \psi_{0_таб}(\eta_T)], 0.005] = 0.16$$

Коэффициент системы решетка - трубы:

$$\beta_{ww} := \frac{1.82}{s_p} \cdot \sqrt[4]{\frac{K_y \cdot s_p}{\psi_0 \cdot E_{реш70}}} = 0.011$$

Безразмерный параметр системы решетка — трубы вычисляются по формуле

$$\omega := \beta \cdot a_1 = 5.004$$

4.7. 2. Определение усилий в элементах теплообменного аппарата

- Максимальное давление в трубном пространстве

$$P_{мак1} := 1.15 \text{ МПа}$$

- Максимальное давление в межтрубном пространстве,

$$P_{мак2} := 1.18 \text{ МПа}$$

R_1 - радиус центра тяжести тарелки фланца кожуха, мм;

$$R_1 := \frac{D_\phi + D}{4} = 633.75 \text{ мм}$$

K_ϕ - коэффициент жесткости фланцевого соединения при изгибе, Н·мм;

$$K_\phi := 1 \text{ Н·мм}$$

$m_{ср}$ — коэффициент влияния давления на продольную деформацию труб:

$$m_{ср} := 0.15 \cdot \frac{n_{тр} \cdot (d_{нр} - 2 \cdot s_{тр})^2}{4 \cdot a_1^2} = 0.079$$

α_K - коэффициент линейного расширения материала кожуха при температуре 70С, 1/°С;

$$\alpha_K := 13 \cdot 10^{-6}$$

α_T - коэффициент линейного расширения материала труб при температуре 28 °С 1/°С;

$$\alpha_T := 16.6 \cdot 10^{-6}$$

Приведенное давление p_0 вычисляются по формуле:

$$p_{01} := [\alpha_K \cdot (t_{гор} - 20) - \alpha_T \cdot (t_{хол} - 20)] \cdot K_y \cdot 1 = 23.758$$

$$p_{02} := [\eta_T - 1 + m_{ср} + m_n \cdot (m_n + 0.5\rho \cdot K_q)] \cdot P_{мак1} = 9.034$$

$$p_{03} := [\eta_M - 1 + m_{ср} + m_n \cdot (m_n + 0.3\rho \cdot K_p)] \cdot P_{мак2} = 5.866$$

$$p_0 := p_{01} + p_{02} - p_{03} = 26.926$$

Приведенное отношение жесткости труб к жесткости фланцевого соединения вычисляют по формуле

$$\rho_1 := \frac{K_y \cdot a \cdot a_1}{\beta^2 \cdot K_\phi \cdot R_1} = 2.967 \times 10^7 \text{ МПа}$$

Коэффициенты, учитывающие влияние беструбного края и поддерживающие влияние труб Φ_1, Φ_2, Φ_3 определяют по таблице 2.3.

Таблица.2.3. Коэффициенты Φ_1, Φ_2, Φ_3

ω	0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5
Φ_1	2	2,0	2,06	2,28	2,79	3,58	4,5	5,39
Φ_2	0	0,02	0,19	0,62	1,32	2,16	2,94	3,59
Φ_3	0	0,19	0,76	1,65	2,75	3,76	4,65	5,36

ω	4	5	6	7	8	9	10	> 10
Φ_1	6,19	7,65	9,08	10,51	11,94	13,36	14,78	$\sqrt{2\omega}$
Φ_2	4,13	5,13	6,15	7,17	8,19	9,2	10,21	ω
Φ_3	6,03	7,38	8,81	10,24	11,66	13,08	14,5	$\sqrt{2\omega}$

Безразмерный параметр системы решетка - трубы.

$$\omega = 5.004$$

$$\omega_{-1} := \begin{pmatrix} 1.0 \\ 1.5 \end{pmatrix}$$

$$\Phi_{1_таб} := \begin{pmatrix} 2.06 \\ 2.28 \end{pmatrix}$$

$$\Phi_1 := \text{Floor}(\text{linterp}(\omega_{-1}, \Phi_{1_таб} \omega), 0.05) = 3.8$$

$$\omega_{-2} := \begin{pmatrix} 1.0 \\ 1.5 \end{pmatrix}$$

$$\Phi_{2_таб} := \begin{pmatrix} 0.19 \\ 0.62 \end{pmatrix}$$

$$\Phi_2 := \text{Floor}(\text{linterp}(\omega_{-2}, \Phi_{2_таб} \omega), 0.05) = 3.6$$

$$\omega_{-3} := \begin{pmatrix} 1.0 \\ 1.5 \end{pmatrix}$$

$$\Phi_{3_таб} := \begin{pmatrix} 0.76 \\ 1.65 \end{pmatrix}$$

$$\Phi_3 := \text{Floor}(\text{linterp}(\omega_{-3}, \Phi_{3_таб} \omega), 0.05) = 7.85$$

Значения T_1, T_2, T_3 вычисляют по формулам:

$$t_1 := 1 + 1.4\omega \cdot (m_n - 1) = 2.976$$

$$T_1 := \Phi_1 \cdot [m_n + 0.5(1 + m_n \cdot t_1) \cdot (t_1 - 1)] = 22.948$$

$$T_2 := \Phi_2 \cdot t_1 = 10.713$$

$$T_3 := \Phi_3 \cdot m_n = 10.064$$

Изгибающий момент и перерезывающую силу, распределенные по краю трубной решетки, вычисляют по формулам:

- для изгибающего момента:

s_{1k} - толщина стенки кожуха в месте соединения с трубной решеткой или с фланцем, мм

$$s_{1k} := 24 \text{ мм}$$

$$s_{2k} := 24 \text{ мм}$$

β_{1x} - коэффициент системы кожух - решетка, 1/мм;

$$\beta_{1x} := \frac{1.3}{\sqrt{s_{1k} \cdot a}} = 0.011 \text{ 1/мм}$$

β_{2x} - коэффициент системы обечайка - фланец камеры, 1/мм;

$$\beta_{2x} := \frac{1.3}{\sqrt{s_{2k} \cdot a}} = 0.011 \text{ 1/мм}$$

$h_{1\phi}$ - толщина тарелки фланца кожуха, мм;

$$h_{1\phi} := 90 \text{ мм}$$

m_1 - коэффициент влияния давления на изгиб фланца:

$$m_1 := \frac{1 + \beta_{1x} \cdot h_{1\phi}}{\beta_{1x}^2} = 1.683 \times 10^4$$

m_2 - коэффициент влияния давления на изгиб 2-го фланца:

$$m_2 := \frac{1 + \beta_{2x} \cdot h_{1\phi}}{\beta_{2x}^2} = 1.683 \times 10^4$$

p_1 - приведенное давление на фланцы

$$p_1 := \frac{K_y}{\beta \cdot K_{\phi}} \cdot (m_1 \cdot P_{\text{мак1}} - m_2 \cdot P_{\text{мак2}}) = -3.615 \times 10^5 \text{ МПа}$$

расчетное давление воздушного охлаждения в камере аппарата:

$$P_{\text{ww}} := P_{\text{мак2}} = 1.18 \text{ МПа}$$

$$M_{\Pi} := \left(\frac{a_1}{\beta} \right) \cdot \frac{p_1 \cdot (T_1 + \rho \cdot K_q) - p_0 \cdot T_2}{(T_1 + \rho \cdot K_q) \cdot (T_3 + \rho_1) - T_2^2} = -533.263 \text{ Н·мм}$$

- для перерезывающей силы:

$$Q_{\Pi} := a_1 \cdot \frac{p_0 \cdot (T_3 + \rho_1) - p_1 \cdot T_2}{(T_1 + \rho \cdot K_q) \cdot (T_3 + \rho_1) - T_2^2} = 379.807 \text{ Н}$$

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

- для изгибающего момента:

$$M_a := M_{\Pi} + (a - a_1) \cdot Q_{\Pi} = 4.96 \times 10^4 \text{ Н·мм}$$

- для перерезывающей силы:

$$Q_a := m_{\Pi} \cdot Q_{\Pi} = 486.932 \text{ Н}$$

Осевую силу и изгибающий момент, действующие на трубу, вычисляют по формулам:-

для осевой силы:

$$i := \frac{1}{3}$$

$$N_T := \frac{\pi \cdot a_1}{i} \cdot \left[(\eta_M \cdot P_{\text{мак2}} - \eta_T \cdot P_{\text{мак1}}) \cdot a_1 + \Phi_1 \cdot Q_a + \Phi_2 \cdot \beta \cdot M_a \right] = 1.608 \times 10^7 \text{ Н}$$

- для изгибающего момента:

Внутренний диаметр трубы:

$$d_B := d_{HP} - 2 \cdot s_{TP} = 21 \text{ мм}$$

J_T - момент инерции поперечного сечения трубы, мм⁴;

$$J_T := \frac{\pi}{64} \cdot (d_{HP}^4 - d_B^4) = 9.628 \times 10^3 \text{ мм}^4$$

приведенная длина трубы, используемая при расчете прогиба труб и изгибающего момента, действующего на трубу, мм;

l_{TP} — вычисляются по формулам.

$$l_{TP} := l_{\text{труб}} = 6 \times 10^3 \text{ мм}$$

$$M_T := \frac{E_{TP} \cdot J_T \cdot \beta}{K_y \cdot a_1 \cdot l_{TP}} \cdot (\Phi_2 \cdot Q_a + \Phi_3 \cdot \beta \cdot M_a) = 5.912 \times 10^3 \text{ Н·мм}$$

Усилия в кожухе вычисляются по формулам:

- усилие, распределенное по периметру кожуха:

$$Q_K := \frac{a}{2} \cdot P_{и2} - Q_{II} = 65.648 \text{ Н}$$

- изгибающий момент, распределенный по периметру кожуха:

$$K_1 := 1$$

$$M_K := \frac{K_1}{\rho \cdot K_{\Phi} \cdot \beta} \cdot (T_2 \cdot Q_{II} + T_3 \cdot \beta \cdot M_{II}) - \frac{P_{\text{мак1}}}{2 \cdot \beta \cdot l_x} = 3.121 \times 10^4 \text{ Н·мм}$$

- суммарная осевая сила, действующая на кожух:

$$F := \pi \cdot D \cdot Q_K = 2.475 \times 10^5 \text{ Н}$$

Расчетные напряжения в элементах конструкции.

D_n - наружный диаметр фланца, м;

$$D_{\Phi} = 1.335 \times 10^3 \text{ мм}$$

s_p - толщина трубной решетки, м;

$$s_p = 60 \text{ мм}$$

$$s_{1p} := s_p = 60 \text{ мм}$$

b_1 - ширина тарелки фланца кожуха, м;

$$b_1 := \frac{D_{\Phi} - D}{2} = 67.5 \text{ мм}$$

R_1 - радиус центра тяжести тарелки фланца кожуха, м;

$$R_1 = 633.75 \text{ мм}$$

4.7.3. Расчетные напряжения в трубных решетках.

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

- изгибные:

$$\sigma_{p1} := \frac{6 \cdot |M_{II}|}{(s_{1p} - c)^2} = 0.951 \text{ МПа}$$

- касательные:

$$\tau_{1p} := \frac{|Q_{II}|}{s_{1p} - c} = 6.548 \text{ МПа}$$

m_A, n_B - коэффициент для определения максимального изгибающего момента в перфорированной части трубной решетки;

$$\omega = 5.004$$

$$m_A := \frac{\beta \cdot M_a}{Q_a} = 1.089$$

$$n_B := \frac{Q_a}{\beta \cdot M_a} = 0.918$$

A — коэффициент, определяемый по приложению Г ГОСТ Р 52857.7-2007 в зависимости от ω и m_A :

B — коэффициент, определяемый по приложению Г ГОСТ Р 52857.7-2007 в зависимости от ω и n_B :

$$A := 0.765$$

$$B := 1.071$$

M_{\max} — максимальный расчетный изгибающий момент в перфорированной части трубной решетки.

$$M_{\max} := \begin{cases} A \cdot \frac{|Q_a|}{\beta} & \text{if } \begin{cases} m_A \leq 1 \\ -1 \leq m_A \end{cases} \\ B \cdot |M_a| & \text{if } \begin{cases} m_A < -1 \\ m_A > 1 \end{cases} \end{cases} = 5.312 \times 10^4 \text{ Н}\cdot\text{мм}$$

Напряжения в перфорированной части трубной решетки вычисляются по формулам:

- изгибные:

$$\sigma_{p2} := \frac{6 \cdot M_{\max}}{\phi \cdot (s_{1p} - c)^2} = 94.75 \text{ МПа}$$

- касательные:

$$\tau_{2p} := \frac{|Q_a|}{\phi \cdot (s_{1p} - c)} = 8.395 \text{ МПа}$$

Напряжения в кожухе в месте присоединения к решетке

в меридиональном направлении:

мембранные:

$$\sigma_{Mx} := \frac{|Q_k|}{(s_{1k} - c)} = 2.984 \text{ МПа}$$

изгибные:

$$\sigma_{ux} := \frac{6 \cdot |M_k|}{(s_{1k} - c)^2} = 386.902 \text{ МПа}$$

в окружном направлении:

мембранные:

$$\sigma_{M\phi} := \frac{P_{\max 1} \cdot a}{(s_{1k} - c)} = 31.364 \text{ МПа}$$

изгибные:

$$\sigma_{u\phi} := 0.3 \cdot \sigma_{ux} = 116.071 \text{ МПа}$$

в окружном направлении:

$$\sigma_{2T} := \frac{(d_{np} - s_{tp}) \max(|P_{\max 2}|, |P_{\max 1}|, |P_{\max 2} - P_{\max 1}|)}{2 \cdot s_{tp}} = 6.785 \text{ МПа}$$

$\sigma_{др}$ - допускаемое напряжение для материала решетки, МПа;

$$\sigma_{др} := 147 \text{ МПа}$$

Проверка прочности трубных решёток

Проверка статической прочности

$$\text{Пров}_{\text{труб_реш}} := \begin{cases} \text{"Условие прочности выполняется"} & \text{if } \max(\tau_{1p}, \tau_{2p}) \leq 0.8 \cdot \sigma_{др} \\ \text{"Условие прочности НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{Пров}_{\text{труб_реш}} = \text{"Условие прочности выполняется"}$$

Проверка прочности и устойчивости кожуха

Проверку прочности кожуха в месте присоединения к решетке.

Условие статической прочности кожуха в месте присоединения к решетке:

допускаемое напряжение для материала кожуха теплообменного аппарата или крышки аппарата воздушного охлаждения, МПа;

$$\sigma_{Д28} = 170 \text{ МПа}$$

$$\text{Пров}_{\text{кож}} := \begin{cases} \text{"Условие выполняется"} & \text{if } \sigma_{Mx} \leq 1.3 \cdot \sigma_{Д28} \\ \text{"Условие НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{Пров}_{\text{кож}} = \text{"Условие выполняется"}$$

4.7.4. Расчёт трубы на прочность, устойчивость и жесткость. Расчет крепления труб к решетке.

условие статической прочности труб

$$\text{Пров}_{\text{ст_прочности}} := \begin{cases} \text{"Условие выполняется"} & \text{if } \sigma_{2T} \leq \sigma_{тр} \\ \text{"Условие НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{Пров}_{\text{ст_прочности}} = \text{"Условие выполняется"}$$

Проверку труб на устойчивость проводят в случае, если:

K_T - коэффициент условий работы при расчете труб на устойчивость;

-Для рабочих условий:

$$K_{T1} := 1.3$$

-Для условий гидроиспытания:

$$K_{T2} := 1.126$$

Задаем конструктивно:

l_{1R} — максимальный пролет трубы между решеткой и перегородкой, мм;

$$l_{1R} := 2000 \text{ мм}$$

l_{2R} — максимальный пролет трубы между перегородками, мм;

$$l_{2R} := 2000 \text{ мм}$$

l_R - расчетная длина труб при продольном изгибе, мм;

$$l_R := \max(l_{2R}, 0.7l_{1R}) = 2 \times 10^3 \text{ мм}$$

λ - параметр, используемый при расчете на продольный изгиб;

-Для рабочих условий:

$$\lambda_1 := K_{T1} \cdot \sqrt{\frac{\sigma_{тр}}{E_{тр5}}} \cdot \frac{l_R}{(d_{тр} - s_{тр})} = 3.614$$

-Для условий гидроиспытания:

$$\lambda_2 := K_{T2} \cdot \sqrt{\frac{\sigma_{Tp}}{E_{Tp5}}} \cdot \frac{l_R}{(d_{Tp} - s_{Tp})} = 3.131$$

φ_T - коэффициент уменьшения допускаемого напряжения при продольном изгибе, определяемый по графику на рисунке 2.7., в зависимости от λ .

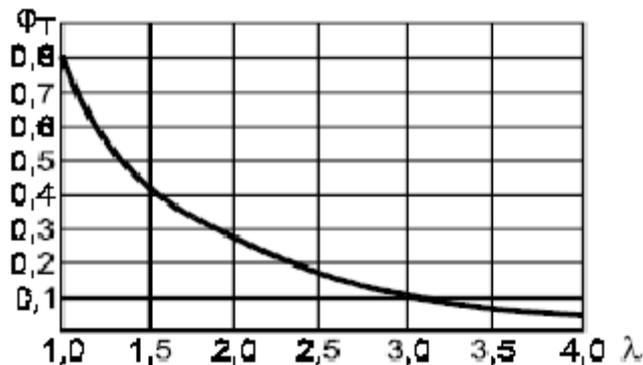


Рисунок 2.7. Коэффициент уменьшения допускаемого напряжения при продольном изгибе $\varphi_T := 0.1$

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

Для труб развальцованных в гладком отверстии с отбортовкой:

Площадь трубной решетки, заключенной между четырьмя трубами:

$$f_{\text{рр}} := 0.866 \cdot t^2 - \frac{\pi \cdot d_{Tp}^2}{4} = 540.423 \text{ мм}^2$$

Трубная нагрузка:

$$q_{\text{рр}} := P_{\text{рас1}} \cdot f = 540.423$$

$$Q := 6.357 \times 10^4 \text{ Па}$$

$$q_{\text{тр}} := \frac{Q}{n_{Tp}} = 60.658 \text{ Н}$$

Температурное напряжение в трубе:

$$\sigma_T := 8.03 \text{ МПа}$$

Площадь поперечного сечения стенки трубы:

$$d_H := 0.025 \text{ м}$$

$$d_B := 0.021 \text{ м}$$

$$f_T := \frac{\pi}{4} \cdot (d_H^2 - d_B^2) = 1.445 \times 10^{-4} \text{ м}^2$$

$$q_T := \sigma_T \cdot f_T = 1.16 \times 10^{-3}$$

Суммарное усилие:

$$q_C := q - q_T = 60.657 \text{ Н}$$

Удельная нагрузка от давления на единицу длины окружности:

$$\sigma_0 := \frac{q}{\pi \cdot d_H} = 772.327 \text{ Н/м}$$

$$\sigma_{0д} := 0.04 \cdot 10^6 \text{ Н/м}$$

$$\text{Пров}_{\text{прочности}} := \begin{cases} \text{"Условие прочности выполняется"} & \text{if } \sigma_0 \leq \sigma_{0д} \\ \text{"Условие НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{Пров}_{\text{прочности}} = \text{"Условие прочности выполняется"}$$

4.8. Расчет массы аппарата

Расчет веса корпуса аппарата:

Вес аппарата:

Вес обечайки:

Расчет веса корпуса аппарата:

Наружный диаметр корпуса

$$D_H := 1.22 \text{ м}$$

Внутренний диаметр аппарата

$$D_{BK} := 1.2 \text{ м}$$

Толщина стенки межтрубного пространства кожуха:

$$s_1 = 10 \text{ мм}$$

Внутренний диаметр крышки

$$D_{кр} := 1.2 \text{ м}$$

Внутренний диаметр труб

$$D_{BT} := 0.021 \text{ м}$$

Наружный диаметр труб

$$D_{HT} := 0.025 \text{ м}$$

Толщина стенки эллиптической крышки межтрубного пространства

$$s_{Э.к.м.п} := 0.01 \text{ мм}$$

Плотность воды

$$\rho_{\text{вод}} := 998 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

Толщина стенок труб

$$s_T := 0.002 \text{ мм}$$

Толщина стенки корпуса

$$s_{\text{корп}} := 0.01 \text{ мм}$$

Прибавка на коррозию

$$c := 0.003 \text{ мм}$$

Длина корпуса

$$L_{\text{корп}} := 6 \text{ м}$$

Длина камеры

$$L_{\text{камеры}} := 0.856 \text{ м}$$

Длина труб

$$L_{\text{труб}} := 6 \text{ м}$$

Количество труб

$$n := 1048$$

Ускорение свободного падения

$$g := 9.81$$

Плотность стали

$$\rho_{\text{мет}} := 7900 \text{ кг/м}^3$$

Толщина трубной решетки

$$s_{тр} := 0.6 \text{ мм}$$

Диаметр трубной решетки 1

$$D_{т.р1} := 1.22 \text{ м}$$

Диаметр трубной решетки 1

Вес корпуса аппарата:

$$G_{корп} := \pi \cdot \left(\frac{D_H^2 - D_{ВК}^2}{4} \right) \cdot L_{корп} \cdot \rho_{мет} \cdot g = 1.768 \times 10^4 \text{ Н}$$

Вес распределительной камеры аппарата:

$$G_{кам} := \pi \cdot \left(\frac{D_H^2 - D_{ВК}^2}{4} \right) \cdot L_{камеры} \cdot \rho_{мет} \cdot g = 2.522 \times 10^3 \text{ Н}$$

Вес трубного пучка:

$$G_{труб.п} := \pi \cdot \left(\frac{D_{НГ}^2 - D_{ВГ}^2}{4} \right) \cdot L_{труб} \cdot \rho_{мет} \cdot g \cdot n = 7.042 \times 10^4 \text{ Н}$$

Вес трубной решетки 1:

$$G_{труб.р1} := \pi \cdot \left(\frac{D_{т.р1}^2}{4} \right) \cdot s_{тр} \cdot \rho_{мет} \cdot g = 5.436 \times 10^4 \text{ Н}$$

Вес эллиптической крышки межтрубного пространства:

Высота эллиптической крышки:

$$H_{э.к.м.п} := 0.25D_{ВК} = 0.3 \text{ м}$$

Вес эллиптической крышки:

По ГОСТ 6533-78

$$G_{э.к.м.п} := 73.8 \cdot g = 723.978 \text{ Н}$$

Вес фланцевого соединения с $D_{ВН}=1200$:

$$G_{фланц1000} := 5 \cdot 297.9 \cdot g = 1.461 \times 10^4 \text{ Н}$$

Вес пустого аппарата:

$$A := G_{корп} + G_{кам} + G_{труб.п} + G_{труб.р1} = 1.45 \times 10^5$$

$$A_1 := 2G_{э.к.м.п} + 2G_{фланц1000} = 3.067 \times 10^4$$

$$G_{ап1} := (A + A_1) \cdot 2 = 3.513 \times 10^5 \text{ Н}$$

Вес жидкости в аппарате:

Вес жидкости внутри аппарата при гидроиспытаниях:

$$G_{жид1} := \left(\pi \cdot \frac{D_{ВК}^2}{4} \cdot 11.25 \right) \cdot \rho_{вод} \cdot g = 1.246 \times 10^5 \text{ Н}$$

Вес аппарата при гидроиспытаниях:

$$G_{ап2} := G_{ап1} + G_{жид1} = 4.759 \times 10^5 \text{ Н}$$

Нагрузка от собственной массы:

$$F := G_{\text{ан2}} = 4.759 \times 10^5 \text{ Н}$$

Переводим нагрузку в МН:

$$F1 := \frac{F}{1000000} = 0.476 \text{ МН}$$

4.9. Расчет седлообразных опор.

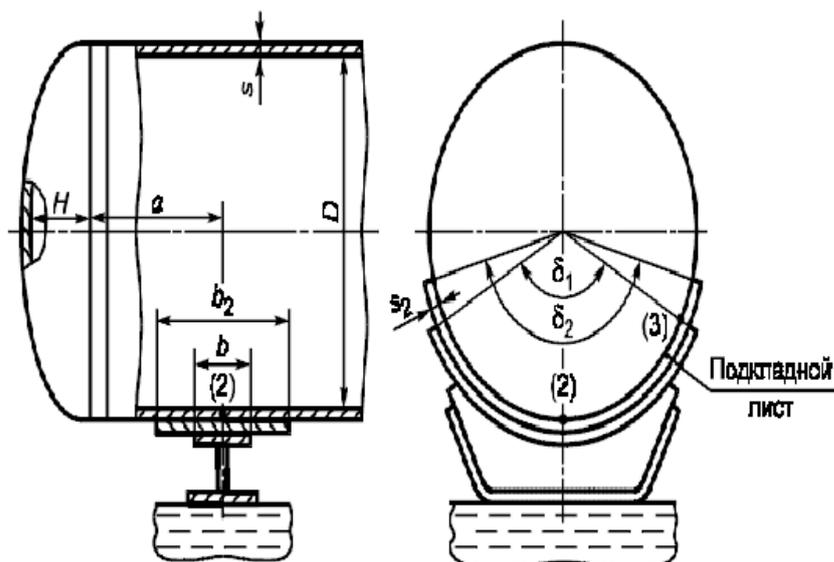


Рисунок 2.8. Расчетная схема обечайки не подкрепленной кольцами жесткости.

Определение расчетных усилий

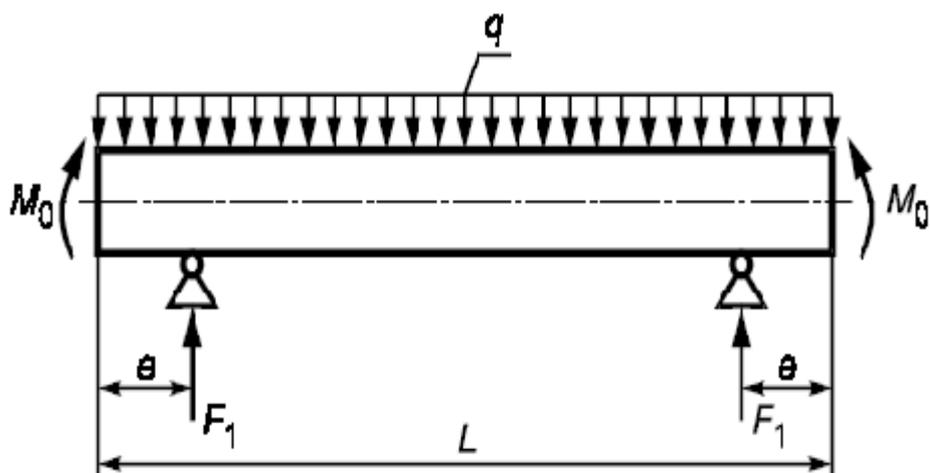


Рисунок 2.9. Расчетная схема определения усилий

Длина цилиндрической обечайки:

$$L_{\text{об}} := 6000 \text{ мм}$$

$$q := \frac{G_{\text{ан2}}}{\text{Лоб} + H_{\text{Э.к.м.п}} \cdot \frac{4}{3}} = 79.306 \text{ Н}$$

$$M_0 := q \cdot \frac{D_{\text{вк}}^2}{16} = 7.138 \text{ Н}$$

Нагрузка на одну опору:

$$F_1 := \frac{G_{\text{ан2}}}{2} = 2.379 \times 10^5 \text{ Н}$$

Переводим в кН:

$$\frac{F_1}{1000} = 237.934 \text{ кН}$$

Определение изгибающих моментов и поперечных усилий.

Расстояние от края цилиндрической обечайки до центра опоры:

$$e := 1.4 \text{ м}$$

$$a := 1.8$$

Момент над опорой:

$$M_1 := \left| \left(\frac{q \cdot e^2}{2} - M_0 \right) \right|$$

$$M_2 := M_1 = 70.582 \text{ Н}$$

Максимальный момент между опорами:

$$M_{12} := M_0 + F_1 \cdot \left(\frac{\text{Лоб}}{2} - a \right) - \frac{q}{2} \cdot \left[\frac{\text{Лоб}}{2} + \frac{2}{3} \cdot (H_{\text{Э.к.м.п}}) \right]^2 = 3.564 \times 10^8 \text{ Н}\cdot\text{м}$$

$$Q_1 := \frac{\text{Лоб} - 2 \cdot a}{\text{Лоб} + \frac{4}{3} \cdot (H_{\text{Э.к.м.п}})} \cdot F_1 = 2.378 \times 10^5 \text{ Н}\cdot\text{м}$$

Проверка несущей способности обечайки в сечении между опорами.

$$\text{Пров}_{\text{нес.сп.}} := \begin{cases} \text{"Выполняется"} & \text{if } M_{12} > M_1 \\ \text{"Не выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{Пров}_{\text{нес.сп.}} = \text{"Выполняется"}$$

Таким образом, подбираем седловую опору типа 2 для сосудов и аппаратов диаметром от 800 до 2000 мм, 3-го исполнения (нагрузки от 300 до 360 кН) согласно ОСТ 26-2091-93, с геометрическими параметрами приведенными в таблице 2.4.

Таблица 2.4. Геометрические размеры седлообразных опор

Диаметр аппарата, Dв	Допускаемая нагрузка на опору, кН	S1	S2	R	L	L1	l	B	B1	B2	h	A	A1	Масса, кг	Масса подкладной плиты, кг
1200	300	20	20	638	110	1120	1028	250	400	140	440	800	940	125,7	30

Также примем размеры подкладного листа согласно таблице 2.5, радиусом R=654 и

толщиной 6 мм.

Таблица 2.5. Геометрические размеры подкладного листа

Диаметр аппарата, Dв	S	R	H	Масса, кг
1200	6	654	400	27

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

Студенту:

Группа	ФИО
3-2к22	Разакова Лабар Назиркуловна

Институт	Электронного обучения	Кафедра	Общей химии и химической технологии
Уровень образования	Бакалавр	Направление/специальность	Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии

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

1. Стоимость ресурсов проекта: материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Работа с информацией, представленной в российских и иностранных научных публикациях, аналитических материалах, статических бюллетенях и изданиях, нормативно-правовых документах; анкетирование; опрос.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого и инновационного потенциала проекта	Проведение предпроектного анализа. Определение целевого рынка и проведение его сегментирования.
2. Определение возможных альтернатив проведения научных исследований	Определение целей и ожиданий, требований проекта. Определение заинтересованных сторон и их ожиданий.
3. Планирование процесса управления проектом: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок	Определение производственной мощности. Расчет сырья, материалов, оборудования, фонда оплаты труда. Расчет себестоимости готового продукта. Расчет точки безубыточности.
4. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности	Проведение оценки экономической эффективности производства серной кислоты сушильно-абсорбционного отделения медеплавильного завода АГМК.

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Расчет точки безубыточности графическим и математическим методами.
2. Расчет технико-экономических показателей

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Рыжакина Т. Г.	кандидат экономических наук		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-2к22	Разакова Лабар Назиркуловна		

5. АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДЕЙСТВУЮЩЕГО ПРОИЗВОДСТВА

5.1 Расчёт производственной мощности

Производственная мощность действующей установки – это максимально возможный годовой выпуск готовой продукции в номенклатуре и ассортименте, предусмотренных на плановый период при наилучшем использовании производственного оборудования.

$$M = П \cdot T_{эфф} \cdot K_{об},$$

где П – производительность оборудования в единицу времени ($П = 1350 \text{ т/день}$);

$T_{эфф}$ – эффективный фонд времени работы оборудования;

$K_{об}$ – количество однотипного оборудования, установленного в цехе.

Эффективный фонд времени оборудования:

$$T_{эфф} = T_{ном} - T_{ППР} - T_{ТО},$$

где $T_{ном}$ – номинальный фонд работы оборудования;

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

$T_{ТО}$ – время технологических остановок.

$$T_{ном} = T_{кал} - T_{вых} - T_{пр},$$

где $T_{кал}$ – календарный фонд времени;

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

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

Таблица 1 – Баланс рабочего времени оборудования

Показатели	Количество дней	Количество часов
Календарный фонд времени	365	8 760
Режимные потери рабочего времени		
• выходные	-	-
• праздники	-	-
Номинальный фонд рабочего времени	365	8 760
Простой оборудования в ремонтах	14	336
Эффективное время работы оборудования за год	351	8424

Производственная мощность равна:

$$M = 1350 \cdot 351 \cdot 1 = 473850 \text{ т/год}.$$

Для анализа использования оборудования рассчитываем экстенсивный и интенсивный коэффициенты.

Коэффициент экстенсивного использования оборудования равен:

$$K_{экс} = T_{эфф} / T_{ном} = 351 / 365 = 0,96.$$

Коэффициент интенсивного использования оборудования равен:

$$K_{инт} = Q_{ин} / Q_{макс} = 1270 / 1350 = 0,94,$$

где $Q_{ин}$ – производительность единицы оборудования в единицу времени;

$Q_{макс}$ – максимальная производительность в единицу времени.

Интегральный коэффициент использования мощности:

$$K_{им} = K_{экс} \cdot K_{инт} = 0,96 \cdot 0,94 = 0,9.$$

Для определения фактического выпуска продукции рассчитывается производственная программа ($N_{год}$):

$$N_{год} = K_{им} \cdot M = 0,9 \cdot 473850 = 426465 \text{ м/год},$$

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

Вывод: установка работает на неполную мощность, степень загрузки равна 90%.

5.2 Расчет себестоимости готовой продукции по действующему производству

5.2.1 Расчет численности персонала

Таблица 2 – Расчет численности ИТР, служащих и МОП

Профессия	Категория	Тарифный разряд	Количество смен в сутках	Штатная численность
Начальник установки	ИТР	Высшее	1	1
Механик установки		Высшее	1	1
Мастер установки		Высшее	1	2
Технолог		Высшее	1	2
Итого				6
Оператор ТУ	Производственный рабочий	5	1	2
		4	1	12
Товарный оператор		4	1	2
Итого				16
Слесарь РТУ	Ремонтно-обслуживающий персонал	4	1	8
Электрик установки		4	1	2
Слесарь КИПиА		4	1	3
Итого				13
ИТОГО				35

Расчет баланса эффективного годового времени одного среднесписочного работника.

Таблица 3 – Баланс эффективного времени одного среднесписочного работника

№	Показатели	Дни	Часы
1.	Календарный фонд рабочего времени	365	2920
2.	Нерабочие дни <ul style="list-style-type: none"> • выходные • праздничные 	72 -	
3.	Номинальный фонд рабочего времени	293	2344
4.	Планируемые невыходы <ul style="list-style-type: none"> • очередные и дополнительные отпуска • невыходы по болезни • декретные отпуска • отпуск в связи с учебой без отрыва от производства • выполнение гос. обязанностей 	24 12 - - 2	
5.	Эффективный фонд рабочего времени	255	2040

Количество выходных дней в году, ночных смен определяется из графика сменности.

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	16
1	7 – 15	А	А	А	А	Б	Б	Б	Б	В	В	В	В	Г	Г	Г	Г
2	15 – 23	В	Г	Г	Г	Г	А	А	А	А	Б	Б	Б	Б	В	В	В
3	23 – 7	Б	Б	В	В	В	В	Г	Г	Г	Г	А	А	А	А	Б	Б
Отдых		Г	В	Б	Б	А	Г	В	В	Б	А	Г	Г	В	Б	А	А

5.2.2 Расчет годового фонда заработной платы персонала

Расчет годового фонда зарплаты ИТР, служащих и МОП производится на основании их окладов.

Общий фонд заработной платы рабочих за год:

$$Z_{год} = Z_{осн} + Z_{доп},$$

где $Z_{осн}$ – основной фонд заработной платы рабочих, тыс. руб;

$Z_{доп}$ – дополнительный фонд заработной платы рабочих, тыс. руб.

Основной фонд заработной платы для рабочих повременников:

$$Z_{осн} = Z_{тар} + Пр + D_{н.вр.} + D_{пр.дни} + D_{бриг},$$

где $Z_{тар}$ – тарифный фонд заработной платы, тыс. руб.;

Пр – оплата премий, тыс. руб.;

$D_{н.вр.}$ – доплата за работу в ночное время, тыс. руб.;

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

$D_{бриг}$ – доплата не освобожденным бригадирам, тыс. руб.

Тарифный фонд заработной платы:

$$Z_{тар} = \sum Ч_{сп} \cdot T_{ст} \cdot T_{эфф.раб},$$

где $Ч_{сп}$ – списочная численность рабочих данного разряда, чел.;

$T_{ст}$ – дневная тарифная ставка данного разряда, тыс. руб.

Размер премий берется из интервала 20–70 % от тарифного фонда заработной платы. Принимаем 30%.

По отношению к тарифному фонду заработной платы доплата за праздничные дни составит 30 %.

Доплата за работу в ночное время составляет 20%.

Дополнительная зарплата ($Z_{доп}$):

$$Z_{доп} = (D_n \cdot Z_{осн}) / T_{эфф},$$

где D_n – количество дней невыхода на работу по планируемым причинам (отпуск, ученические, гособязанности).

Районный коэффициент для Ташкентской области Узбекистана – 1,2. Отчисления на социальные нужды на зарплату – 25 % от ($Z_{осн} + Z_{доп}$).

Таблица 5 – Общий фонд заработной платы повременников

Наименование профессий	Списочная численность	Тарифный разряд	Тарифная ставка, руб./час	Основной фонд заработной платы, тыс. руб.					Дополнительный фонд з/п, тыс. руб.	Общий годовой фонд з/п, тыс. руб.	Общий фонд з/п с учетом районного коэф., тыс. руб.
				Тарифн. фонд	Премия	Доплата за ночн. время	Доплата за работу в празд.	Основной фонд з/п			
ИТР	6	5	113,00	1383,12	414,94	276,62	414,94	2489,62	248,96	2738,58	3286,29
Оператор ТУ	2	5	89,50	365,16	109,55	73,03	109,55	657,29	65,73	723,02	867,62
	12	4	81,10	1985,33	595,60	397,07	595,60	3573,59	357,36	3930,95	4717,14
Оператор товарный	2	4	80,00	326,40	97,92	65,28	97,92	587,52	58,75	646,27	775,53
Слесарь РТУ	8	4	78,50	1281,12	384,34	256,22	384,34	2306,02	230,60	2536,62	3043,94
Электрик установки	2	4	79,00	322,32	96,70	64,46	96,70	580,18	58,02	638,19	765,83
Слесарь КИПиА	3	4	79,00	483,48	145,04	96,70	145,04	870,26	87,03	957,29	1148,75
Итого:	35			6146,93	1844,08	1229,39	1844,08	11064,47	1106,45	12170,92	14605,10

5.2.3 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 материалов и планово-заготовительных цен.

Таблица 6 – Расчет годовой потребности в сырье и материалах

Наименование сырья	Ед. изм.	Цена, тыс. руб.	Расход, т		Сумма затрат, тыс. руб.	
			На единицу готовой продукции	На весь объем производства	На единицу готовой продукции	На весь объем производства
Ванадиевый катализатор	т	1200	0,1	42646,5	120	51175800

Расчет годовой потребности в энергии

Таблица 7 – Расчет потребной энергии

Наименование	Годовой расход	Цена ед., руб.	Годовая сумма затрат, тыс. руб.
Топливо и энергия:			
1. топливо, т	500	25000	12500
2. электроэнергия, кВт/ч	165000	4	660
Итого			13160

Таблица 8 – Расчет амортизационных отчислений

Наименование основных средств	Кол-во	Стоимость, тыс. руб.	Норма амортизации, %	Годовые амортизационные отчисления, тыс. руб.
1. Здания:				
1.1. Арматурный блок		6000	5	300
1.2. Операторная		5000	5	250
Итого:		11000		550
2. Оборудование:				
2.1. Колонна абсорбционная	2	60000	10	12000
2.2. Циклон	1	300	10	30
2.3. Сухой электрофильтр	1	480	10	48
2.4. Промывные, увлажнительные и сушильные башни	4	50000	10	20000
2.5. Теплообменник	2	500	10	100
2.6. Насос	2	250	10	50
2.7. Мокрые электрофильтры	2	480	10	96
2.8. Брызгоуловители	2	350	10	70

2.9. Реактор полочный	1	450	10	45
2.10. Холодильник	1	400	10	40
2.11. Оросительные холоильники	5	500	10	250
2.12. Сборники кислоты	6	355	10	213
Итого:		329420		32942
Итого общее:				33492

Таблица 9 – Калькуляция себестоимости на производство и реализацию продукции при заданном объеме производства ($Q = 426465 \text{ т/год}$)

Наименование статьи расходов	Ед. изм.	Затраты тыс. руб.	
		На 1 т.	На N год
1. Сырье	тыс. руб.	120	51175800
2. Энергия на технологические нужды	тыс. руб.	0,031	13160
3. З/П основных произв. рабочих	тыс. руб.	0,0149	6360,29
4. Отчисления на СН (25%)	тыс. руб.	0,0037	1590,0725
Итого условно-переменных издержек	тыс. руб.	120,031	51188960
5. Общепроизводственные накладные расходы			
5.1. РСЭО:			
- Амортизация оборудования	тыс. руб.	0,0785	33492
- Ремонт оборудования	тыс. руб.	0,0236	10047,6
- Заработная плата ремонтного персонала	тыс. руб.	0,0071	3043,94
- Отчисление на соц. нужды ремонтного персонала (25%)	тыс. руб.	0,0018	760,985
5.2. Заработная плата ИТР	тыс. руб.	0,0077	3286,29
- Отчисление на соц. нужды ИТР (30%)	тыс. руб.	0,0019	821,5725
5.3. Заработная плата вспомогательного персонала	тыс. руб.	0,0045	1914,58
- Отчисление на соц. нужды вспомогательного персонала (25%)	тыс. руб.	0,0011	478,645
Итого условно-постоянных издержек	тыс. руб.	0,1263	53845,6125
Цеховая (производственная) себестоимость (1+2+3+4+5)	тыс. руб.	120,18	51250755,98
6. Управленческие расходы (5% от цеховой себестоимости)	тыс. руб.	6,009	2562537,799
Заводская себестоимость (цеховая себестоимость + стр.6)	тыс. руб.	126,18	53813293,77
7. Коммерческие расходы (1% от заводской себестоимости)	тыс. руб.	1,2618	538132,938
Полная себестоимость (заводская себестоимость +стр.7)	тыс. руб.	127,45	54351426,71
Условно-переменные издержки	тыс. руб.	121,2927	51727092,938

Условно-постоянные издержки	тыс. руб.	6,15	2624333,774
-----------------------------	-----------	------	-------------

5.3 Определение цены готовой продукции

Цену продукта определяем по формуле:

$$Ц = C \cdot (1 + P/100),$$

где C – полная себестоимость единицы готовой продукции;

P – рентабельность продукции (%).

Рентабельность продукции можно принять от 10% до 25%.

$$Ц = 127,45 \cdot (1 + 25/100) = 159,31 \text{ тыс. руб.}$$

5.4 Анализ безубыточности по действующему производству

Цель анализа – определение точки безубыточности, т.е. минимального объема продаж, начиная с которого предприятие не несет убытков. В точке безубыточности выручка от продажи продукции ($B_{ГП}$) равна общим затратам на производство и реализацию продукции:

$$B_{ГП} = \text{Изд}_{\text{пост}} + \text{Изд}_{\text{пер}} \cdot$$

Определение точки безубыточности:

1. Аналитическим способом:

$$Q_{кр} = \frac{\text{Изд}_{\text{пост}}}{Ц_{1 ГП} - \text{Изд}_{\text{пер}1 ГП}}, \text{ т.}$$

где $Ц_{1 ГП}$ – цена единицы готовой продукции (1 тонны);

$\text{Изд}_{1 ГП}$ – удельные переменные издержки (переменные издержки на единицу готовой продукции – 1 тонну).

$$Q_{кр} = \frac{2624333,774}{159,31 - 121,2927} = 69033,64 \text{ т.}$$

2. Графическим способом:

Графически точка безубыточности определяется согласно рис. 1.

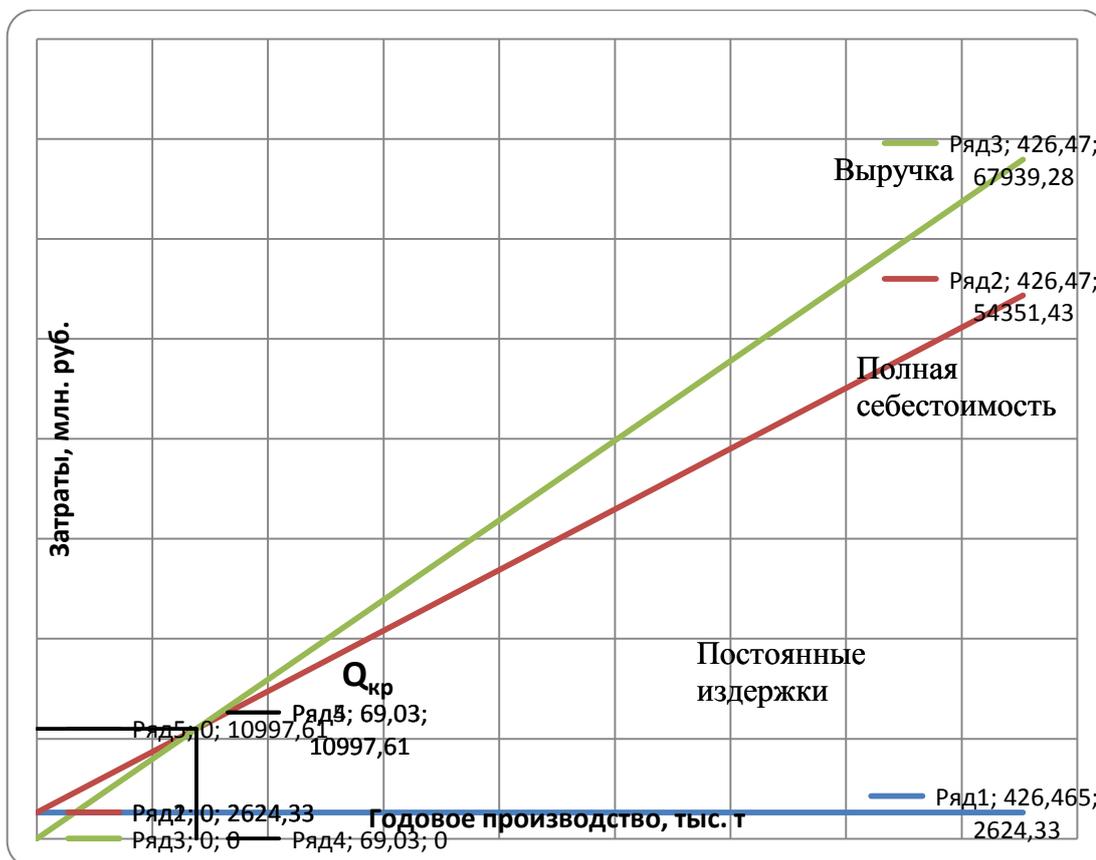


Рисунок 1 – График безубыточности

5.5 Расчет производственной мощности на плановый период при увеличении объема производства до 473 850 т

Поскольку установка работает лишь на 90% от максимальной нагрузки, произведем расчет при увеличении годового производства до 100%.

Таблица 10 – Расчет годовой потребности в сырье и материалах

Наименование сырья	Ед. изм.	Цена, тыс. руб.	Расход, т		Сумма затрат, тыс. руб.	
			На единицу готовой продукции	На весь объем производства	На единицу готовой продукции	На весь объем производства
Ванадиевый катализатор	т	1200	0,1	47385	120	56862000

Таблица 11 – Калькуляция себестоимости на производство и реализацию продукции при заданном объеме производства ($Q = 473850 \text{ т/год}$)

Наименование статьи расходов	Ед. изм.	Затраты тыс. руб.	
		На 1 т.	На N год
1. Сырье	тыс. руб.	120	56862000
2. Энергия на технологические нужды	тыс. руб.	0,031	14622,22222
3. З/П основных произв. рабочих	тыс. руб.	0,0134	6360,29
4. Отчисления на СН (30%)	тыс. руб.	0,0034	1590,0725
Итого условно-переменных издержек	тыс. руб.	120,0309	56876622
5. Общепроизводственные накладные расходы			
5.1. РСЭО:			
- Амортизация оборудования	тыс. руб.	0,0707	33492
- Ремонт оборудования	тыс. руб.	0,0212	10047,6
- Заработная плата ремонтного персонала	тыс. руб.	0,0064	3043,94
- Отчисление на соц. нужды ремонтного персонала (30%)	тыс. руб.	0,0016	760,985
5.2. Заработная плата ИТР	тыс. руб.	0,0069	3286,29
- Отчисление на соц. нужды ИТР (30%)	тыс. руб.	0,0017	821,5725
5.3. Заработная плата вспомогательного персонала	тыс. руб.	0,0040	1914,58
- Отчисление на соц. нужды вспомогательного персонала (30%)	тыс. руб.	0,0010	478,645
Итого условно-постоянных издержек	тыс. руб.	0,1136	53845,6125
Цеховая (производственная) себестоимость (1+2+3+4+5)	тыс. руб.	120,1613	56938418
6. Управленческие расходы (5% от цеховой себестоимости)	тыс. руб.	5,4079	2562537,799
Заводская себестоимость (цеховая себестоимость + стр.6)	тыс. руб.	125,5692	59500956
7. Коммерческие расходы (1% от заводской себестоимости)	тыс. руб.	1,2618	597925,486
Полная себестоимость (заводская себестоимость +стр.7)	тыс. руб.	126,83	60098881,482
Условно-переменные издержки	тыс. руб.	121,2927	57474548
Условно-постоянные издержки	тыс. руб.	5,5383	2624333,774

5.6 Определение цены готовой продукции

Цену продукта определяем по формуле:

$$C = 126,83 \cdot (1 + 25/100) = 158,54 \text{ тыс. руб.}$$

Для дальнейших расчетов примем цену 1 т гудрона 159,31 тыс. руб.

5.7 Анализ безубыточности по действующему производству

Определение точки безубыточности:

1. Аналитическим способом:

$$Q_{кр} = \frac{2624333,774}{159,31 - 121,2927} = 69033,64 \text{ т.}$$

2. Графическим способом:

Графически точка безубыточности определяется согласно рис. 1.

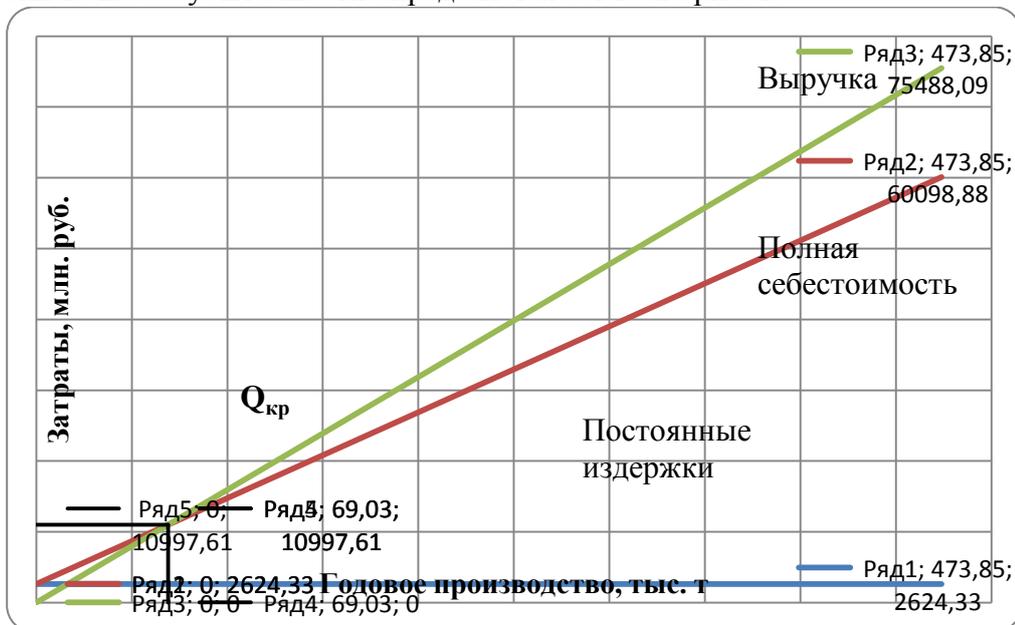


Рисунок 2 – График безубыточности

5.8 Определение технико-экономических показателей

Таблица 12 – Технико-экономические показатели

Наименование показателя	Ед. изм.	Отчетный год	Плановый год	Относительное изменение, %
1. Объем производства	т	426465	473850	11,11
2. Объем продаж	т	426465	473850	11,11
3. Цена 1 тонны	тыс. руб.	159,31	159,31	0
4. Выручка от продажи (2*3)	тыс. руб.	67940139,15	75489043,50	11,11
5. Суммарные издержки	тыс. руб.	54351426,71	60098881,482	10,57
5.1. Издержки переменные	тыс. руб.	51727092,938	57474547,709	11,11
5.2. Издержки постоянные	тыс. руб.	2624333,774	2624333,774	0
6. Операционная прибыль (4-5)	тыс. руб.	13588712,44	15390162,02	13,26
7. Налог на прибыль (6*20%)	тыс. руб.	2717742,49	3078032,40	13,26
8. Чистая прибыль (6-7)	тыс. руб.	10870969,95	12312129,61	13,26
9. Себестоимость 1 тонны	тыс. руб.	127,45	126,83	0,48
10. Стоимость основных средств	тыс. руб.	33492	33492	0
11. Численность основных рабочих	чел.	35	35	0
12. Фондовооруженность (10/11)	тыс. руб./чел	956,91	956,91	0
13. Фондоотдача (4/10)	руб./руб.	2028,55	2253,94	11,11
14. Фондоемкость (10/4)	руб./руб.	0,0005	0,0004	10
15. Производительность труда (4/11)	тыс. руб./чел	1941146,83	2156829,81	11,11
16. Рентабельность производства (8*100%/5)	%	20,0	20,5	2,43
17. Рентабельность продаж (8*100%/4)	%	16,0	16,3	1,93
18. Критический объем продаж (Qкр)	тыс. т.	69,034	69,034	0
19. Критический объем продаж (Qкр)	тыс. руб.	10997749,03	10997749,03	0

Вывод:

В результате увеличения загрузки производственной мощности до 473850 т/год и, соответственно, использования «эффект масштаба», мы получили следующий экономический эффект:

1. Снижение себестоимости на 1 тонну с 127,45 тыс. руб. по 126,83 тыс. руб. (на 0,48%);
2. Увеличение выручки от продажи с 67940139,15 тыс. руб. по 75489043,50 тыс. руб. (на 11,11%);
3. Увеличение чистой прибыли с 10870969,95 тыс. руб. по 12312129,61 тыс. руб. (на 13,26%);
4. Увеличение выплат по налогам с 2717742,49 тыс. руб. по 3078032,40 тыс. руб. (на 13,26%);
5. Увеличение показателя фондоотдачи с 2028,55 руб./руб. по 2253,94 руб./руб. (на 11,11%);
6. Увеличение производительности труда с 1941146,83 тыс. руб./чел. по 2156829,81 тыс. руб./чел. (на 11,11%);
7. Увеличение рентабельности производства с 20% до 20,5%;
8. Увеличение рентабельности продаж с 16% до 16,3%;
9. Точка безубыточности не изменилась: 69,034 тыс. т.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
3-2к22	Разакова Лабар Назиркуловна

Институт	ИнЭО	Кафедра	ОХХТ
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	<i>Установка производства серной кислоты. Сернокислотный цех.</i>
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
<p>1. Производственная безопасность</p> <p>1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</p> <p>1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</p>	<p><i>Вредные факторы при разработке и эксплуатации проектируемого решения</i></p> <ul style="list-style-type: none"> – физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой; – действие фактора на организм человека; – приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ); – предлагаемые средства защиты; – (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства). <p><i>Опасные факторы при разработке и эксплуатации проектируемого решения:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> – механические опасности (источники, средства защиты); – термические опасности (источники, средства защиты); – химические опасности (источники, средства защиты); - электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты)
2. Экологическая безопасность:	<ul style="list-style-type: none"> – защита селитебной зоны – анализ воздействия объекта на

	<p><i>атмосферу (выбросы);</i></p> <ul style="list-style-type: none"> – <i>анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы);</i> – <i>анализ воздействия объекта на литосферу (отходы);</i> <p><i>- разработка решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды.</i></p>
3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	<ul style="list-style-type: none"> – <i>перечень возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения;</i> – <i>выбор наиболее типичной ЧС;</i> – <i>разработка превентивных мер по предупреждению ЧС;</i> <p><i>- разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий.</i></p>
4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:	<ul style="list-style-type: none"> – <i>специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства;</i> <p><i>- организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.</i></p>

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Романцов И. И.	к.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-2к22	Разакова Лабар Назиркуловна		

Социальная ответственность

Введение

Социальная ответственность – это ответственность отдельного ученого, сотрудника компании или предприятия перед обществом. Первостепенное значение при этом имеет безопасность применения технологий в производстве, предотвращение и минимизация возможных негативных последствий их применения как для сотрудника, так и для окружающих людей.

Объектом является АО «Алмалыкский ГМК» - одно из крупнейших в Узбекистане и центральноазиатском регионе предприятий тяжелой индустрии, представляющий собой уникальный промышленный комплекс, объединяющий геолого-разведочные работы, открытую разработку месторождений и подземную добычу руд, обогатительные и золотоизвлекательные фабрики, металлургические заводы, крупные энергетические, автомобильные и железнодорожные транспортные системы, производство сельскохозяйственной продукции, развитую инфраструктуру и объекты социальной сферы.

Сернокислотный цех медеплавильного завода АО «Алмалыкский ГМК», благодаря внедрению нового оборудования от германской компании «Outotec GmbH», позволяет увеличить масштабы производства серной кислоты до 500 тыс.т/год.

Основное оборудование сернокислотного цеха – скрубберы, брызгоуловители, охладительные башни и мокрые электрофильтры.

Для производства технической серной кислоты используется оборудование, работающее под избыточным давлением: газоочистительный блок, сушильно-абсорбционное отделение, абсорбционные колонны и т.п.

6. Производственная безопасность

Таблица 1 – Опасные и вредные факторы при гидродепарафинизации по ГОСТ 12.0.003-74

Источник фактора, наименование видов работ	Факторы (по ГОСТ 12.0.003 – 74)		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	
<p>1. Газоочистительный блок. - Мокрые электрофильтры; - Скрубберы.</p> <p>2. Компрессорный блок. - Компрессора; -Насосы.</p> <p>3.Сушильно-абсорбционный блок. - Абсорбционная колонна; - Сушильная камера; -Брызгоуловитель.</p> <p>4. Нагревательный и охладительный блоки - Печи квенчинга; - Охладительная башня; -Теплообменные аппараты.</p> <p>5. Приемный парк. - Резервуары приема сырья.</p>	<p>1.Климатические условия;</p> <p>2.Недостаточная освещенность рабочей зоны;</p> <p>3.Повышенный уровень шума;</p>	<p>1.Процесс ведется под избыточным давлением;</p> <p>2.Поражение электрическим током.</p> <p>3. Опасность взрыва и пожара.</p> <p>4.Обслуживание оборудования на высоте;</p> <p>5. Получение термических и химических ожогов;</p> <p>6. Работа с концентрированной серной кислотой.</p>	<p>- Параметры безопасности труда устанавливаются ГОСТ 12.0.001 – 82</p> <p>- Параметры определения шумовых характеристик устанавливаются ГОСТ 12.1.003 – 83</p> <p>- Параметры электрического напряжения устанавливаются ГОСТ Р 12.1.019-2009 ССБТ.</p> <p>- Работа с сосудами под давлением устанавливается ПБ 10 – 115 – 96.</p> <p>- Параметры освещения устанавливаются СП 52.13330.2011</p> <p>- Опасность термических ожогов устанавливаются по РД 153-34.0-03.702-99.</p> <p>- Опасность взрыва и пожара по ГОСТ 12.1.010–76 ССБТ</p> <p>- ПДК устанавливаются ГН 2.2.5.1313. – 03.</p> <p>- Правила работы на высоте устанавливаются ПОТ РМ 012-2000.</p> <p>- Правила работы с технической серной кислотой устанавливаются ГОСТ 2184 – 2013.</p>

6.1.1. Анализ вредных факторов

6.1.2. Физико – химическая природа серной кислоты

Серная кислота по своей физико-химической природе в соответствии с ГОСТ 2184-2013 [1] представляет собой тяжелую, маслянистую жидкость без цвета и запаха, с кислым «медным» вкусом.

Серная кислота при температуре кипения 337 °С образует азеотропную смесь 98,3 % H₂SO₄ и 1,7 % H₂O.

Серная кислота, по степени воздействия на организм человека, относится ко 2-му классу опасности в соответствии ГОСТ 12.1.007 [2].

Воздействие на организм человека

Серная кислота – чрезвычайно агрессивное вещество, поражающее дыхательные пути, кожу, слизистую оболочку, вызывающее затруднение дыхания, кашель, нередко – ларингит, трахеит, бронхит. ПДК (предельно допустимая концентрация) аэрозоля серной кислоты в воздухе рабочей зоны 1,0 мг/м². ГОСТ 12.1.005 [3].

Предлагаемые средства защиты

При работе с технической серной кислотой применяют средства индивидуальной защиты по ГОСТ 12.4.011, ГОСТ 12.4.103, ГОСТ 12.4.111, ГОСТ 12.4.112.

Для индивидуальной защиты органов зрения от паров и брызг применяют очки закрытого типа с плотной фиксированной резинкой.

Для защиты кожных покровов от попадания кислоты используют прорезиненные фартуки и перчатки в соответствии с [1].

Для коллективной защиты от воздействия паров серной кислоты в помещениях, где которых проводят работы, должны быть снабжены приточно-вытяжной вентиляцией с механическим побуждением, отвечающей требованиям ГОСТ 12.4.021. В местах возможного выделения химических веществ в воздух рабочей зоны должны быть оборудованы местные вытяжные устройства.[4]

6.1.3. Недостаточная освещенность рабочей зоны

Для нормализации визуальной обстановки в рабочих помещениях представляют собой осветительные проемы, фонари, прожекторы, защитные устройства.[5]

Таблица 2 – Нормы освещенности рабочих мест по ГОСТ Р 55710 - 2013

Наименование помещений, зрительной работы и вида деятельности	$E_{экс}$, лк	U_0 , не менее	R , не более	R_a , не менее	K_p , %, не более
Производственные процессы с дистанционным управлением.	50	0,4	-	20	-
Процессы с частичным применением ручного труда.	150		28	40	
Постоянная ручная работа на производственных установках.	300	0,6	22	80	20
Лаборатории	500		16		

6.1.4. Повышенный уровень шума на производстве

Основным источником шума являются контактно – компрессорные и насосные отделения. Нормирующими характеристиками постоянного шума на рабочих местах являются уровни звуковых давлений в октавных полосах. Уровень шума соответствует ГОСТ 12.1.003 – 83 [6].

Основные организационные мероприятия по борьбе с шумом следующие:

- размещения оборудования, являющегося источником шума, в отдельных помещениях;
- расположение цехов с повышенным уровнем шума в отделении от малозумных помещений;
- применение индивидуальных средств защиты от шума и вибрации, проведение санитарно-профилактических мероприятий для рабочих, занятых на вибро – акустически активном оборудовании [7].

6.1.5. Отклонение показателей микроклимата на открытом воздухе

К метеорологическим факторам, влияющим на человека, относятся температура, влажность, скорость движения воздуха. Характерной особенностью процесса является размещение оборудования на открытых площадках. Для обеспечения нормальных условий труда строятся производственные помещения, отвечающие санитарным нормам СанПиН 2.2.4.548-96.

В тёплый период года температура воздуха в помещении должна быть 20 - 22 °С, а в холодный период 22 - 24 °С, относительная влажность воздуха 30 - 60 %.

С целью защиты персонала от неблагоприятных метеорологических факторов приборы автоматического и дистанционного управления устанавливаются на выносных панелях и размещаются в закрытых помещениях, находящихся на определённом расстоянии от установки.

Контрольно-измерительные приборы располагают не на оборудовании, а тоже делают выносными и располагают в одном месте, которое снабжено навесом, либо крышей, чтобы человек имел возможность работать вне помещения при плохой погоде, также рабочие обеспечиваются индивидуальными средствами защиты.

6.2. Анализ опасных факторов

6.2.1. Электробезопасность

Источниками электрической опасности являются:

- оголенные части проводов или отсутствие изоляции;
- отсутствие заземления;
- замыкания;
- статическое напряжение.

От токоведущих частей электроустановок человека защищают изолирующие защитные средства. Они подразделяются на основные и дополнительные. Основными изолирующими средствами защиты разрешается прикасаться к токоведущим частям электроустановок, имеющих рабочее напряжение до 1000 Вольт. В первую очередь, к таким защитным средствам относится слесарно-монтажный инструмент, снабженный изолирующими рукоятками – плоскогубцы, ножи, отвертки и т.п.

Электробезопасность работающего персонала и посторонних лиц должна обеспечиваться выполнением следующих мероприятий [8]:

1. Соблюдение соответствующих расстояний до токоведущих частей;
2. Изоляция токопроводимых частей;
3. Применение блокировки аппаратов и ограждающих устройств для предотвращения ошибочных операций и доступа к токоведущим частям;
4. Использование предупреждающей сигнализации, надписей и плакатов;
5. Применение устройств для снижения напряженности электрических и магнитных полей до допустимых значений;
6. Использование средств защиты и приспособлений.

6.2.2. Пожарная безопасность

Площадка печей нагрева смеси, насосная подачи сырья и т.п. относится к взрывопожароопасным объектам. Это связано с тем, что в качестве топлива для печей используется топливный газ. Насосы перекачивают серную кислоту под избыточным давлением.

Причины возникновения пожаровзрывоопасной ситуации :

- Разгерметизация трубопроводов в местах соединения;
- Проведение огневых работ без первичных средств пожаротушения;
- Разгерметизация оборудования с возгоранием;
- Большое количество резервуаров, емкостей и аппаратов, в которых имеются пожароопасные продукты под высоким давлением и высокой температуре;
- Высокая теплота сгорания веществ и материалов;
- Использование неисправного оборудования;
- Нарушение технологического режима;
- Пуск неисправной технологической линии (аппарата) установки;
- Нарушение правил ремонтных работ;
- Несоблюдение правил останова технологической установки [9].

Пожарно-профилактические мероприятия

На основании анализа пожарной опасности технологического процесса, с учетом режимов работы технологического оборудования на каждом предприятии, где повышенный риск взрывоопасной ситуации, проводятся пожарно-профилактические мероприятия [10].

Первичные средства пожаротушения

Здания, сооружения, помещения, технологические установки должны быть обеспечены первичными средствами пожаротушения: огнетушителями, ящиками с песком, асбестовое полотно, грубошерстная ткань, войлок (кошма), пожарными ведрами, совковыми лопатами, штыковыми лопатами, пожарным инструментом (крюками, ломami, топорами и т.п.), которые используются для локализации и ликвидации пожаров в начальной стадии их развития.[11]

Таблица 3 – Пожаро-профилактические мероприятия [11]

Наименование технического оборудования	Пожарно-профилактические мероприятия
- Мокрые электрофильтры; -Скрубберы; - Компрессора; -Насосы;	Устанавливаются предохранительные клапана (ПК) или мембраны; Установка приборов КИПиА для: -контроля температуры в аппаратах; -контроль температуры сальников на насосах;

<ul style="list-style-type: none"> - Резервуары приема сырья; - Печи квенчинга; - Абсорбционная колонна; - Теплообменные аппараты. 	<ul style="list-style-type: none"> - контроль давления и температуры при подаче топливного газа на горелки печей; - контроль давления при компримировании газа; - контроль давления на выходе из компрессоров. Установка «дыхательных» клапанов на емкости; - контроль уровня в емкостях; Необходимость заземления электрофильтров и остального оборудования;
--	---

6.2.3. Термическая опасность. Повышенная температура поверхностей

Источником термической опасности в соответствии с РД 153-34.0-03.702-99 могут являться:

- Соединительные магистрали передачи жидкостей, нагретых до высокой температуры;
- Нагретые поверхности узлов электрооборудования;
- Опасность выплеска жидкости под высоким давлением;

После контакта с данным видом термической опасности, вызывает у человека покраснение кожи, возникновение волдырей, повреждение слоя эпидермиса. Так же получение степени ожога (1,2,3,4) [12].

Для защиты рабочих от термической опасности в соответствии с ГОСТ Р 53010-2008, изолируют трубные обвязки, установленные рядом с рабочим местом оператора.

6.2.4. Химическая опасность. Первая помощь при химических ожогах.

Основной причиной получения химических ожогов является несоблюдение персоналом техники безопасности при работе с серной кислотой.

Попадание серной кислоты на открытые участки кожи вызывает покраснение, отек, поражение эпидермиса. Так же получение степени ожога (1, 2, 3, 4).

Оказание первой помощи:

- при попадании на кожу кислот поврежденное место необходимо немедленно обмыть обильным количеством проточной воды (для этого рекомендуется иметь специальный резиновый шланг, легко надевающийся на кран), затем пораженный участок кожи обрабатывают 5% раствором питьевой соды;

- при попадании в глаза кислоты или щелочи необходимо промыть глаза струей воды и осушить полотенцем, после чего обратиться за медицинской помощью [1].

6.2.5. Расположение рабочего места на высоте

На основании ПОТ РМ-012-2000 работы, выполняемые на высоте более 2 м, относятся к опасным производственным факторам. Аппараты, обслуживаемые на высоте, должны быть оснащены защитным ограждением. При невозможности устройства ограждений работы должны выполняться с применением предохранительного пояса и страховочного каната.

6.2.6. Сосуды, работающие под давлением

В соответствии с ПБ 10 – 115 – 96 к сосудам, работающим под давлением, относят герметически закрытые емкости для ведения технологических процессов, а также для хранения и перевозки сжатых, сжиженных и растворенных газов и жидкостей под давлением.

Правила устройства и безопасной эксплуатации сосудов, работающих под давлением распространяются на сосуды, работающие под давлением более 0,7 кг/см².

Сосуды, работающие под избыточным давлением, подлежат техническому освидетельствованию (наружному внутреннему осмотру каждые 2 года и гидравлическому испытанию раз в 8 лет).

На каждый сосуд, работающий под давлением, на видном месте должна быть прикреплена металлическая пластина с нанесёнными клеймами следующих паспортных данных:

- наименование или обозначение сосуда;
- рабочее давление, МПа (кг/см²);
- расчётное давление, МПа (кг/см²);
- давление при гидроиспытании, МПа (кг/см²);
- допустимая максимальная и (или) минимальная рабочая температура стенки, °С.

Для управления работой и обеспечения безопасных условий эксплуатации сосуды должны быть оборудованы приборами контроля давления и температуры среды, предохранительными клапанами, запорной арматурой.

6.3. Экологическая безопасность

Производство серной кислоты – это многостадийный, сложный процесс, который не является безотходным производством. В процессе также происходят выбросы вредных веществ в атмосферу, сбрасывания технически отработанных жидкостей в сточные воды и загрязнение почвы.

Защита селитебной зоны

Для промышленных объектов и производств, сооружений, являющихся источниками воздействия на среду обитания и здоровье человека устанавливаются следующие ориентировочные размеры санитарно-защитных зон:

- промышленный объект по производству серной кислоты относится ко II классу опасности - 500 м [13].

Воздействие объекта на атмосферу

Химические заводы являются источниками загрязнения атмосферного воздуха. В год в атмосферу выделяется тысячи тонн оксида серы, сероводорода, углеводородов, оксидов углерода, сажи и прочее.

Основными источниками загрязнения являются печи, воздушники от аппаратов, «дыхание» емкостей с товарной серной кислотой, выбросы компрессорной и т.п. [11]:

Таблица 5 - Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест по ГН 2.1.6.1338 – 03 [14]

Наименование сброса	Количество образования выбросов по видам, г/сек	Периодичность выбросов	Установленная норма содержания загрязнений, г/сек.
Выбросы домовой трубы. -сернистый ангидрид; -окись углерода; -окись азота; -суммарные углеводороды;	0,468 0,285 0,0295 0,007	Постоянно	0,468 0,285 0,0295 0,007
Выбросы при регенерации катализатора: -сернистый ангидрид; -окись углерода; -сероводород;	3,32 0,03 0,05	2 раза в год	3,32 0,03 0,05

С целью охраны воздушного бассейна, выполняются следующие технологические мероприятия, обеспечивающие минимальные выбросы в атмосферу:

- При использовании в качестве топлива углеводородный газ, его следует очистить от сероводорода в абсорбционных установках, а выделенный сероводород использовать в качестве сырья для производства серы или серной кислоты.
- Оснастить предприятие эффективным газо-пылеулавливающим очистным устройством с дальнейшей утилизацией вредных веществ.

Воздействие объекта на гидросферу

Химические заводы относятся к предприятиям, которые потребляют огромное количество воды. Поэтому их размещают у водоемов, вследствие этого, остается актуальна проблема охраны водных ресурсов от загрязнения сточных вод.

Образования сточных вод имеется на всех установках переработки нефти и в зависимости от источника образования делятся на:

- Нейтральные воды – дренаж из аппаратов, смыв полов в производственных помещениях, ливневые воды с площадок аппаратуры и т.п. Концентрация таких вод составляет 5-8 г/л, а содержание солей 700-1500 мг/л;

- Сероводородсодержащие воды, в которых содержится технологический конденсат.

Для предотвращения попадания вредных веществ в водоемы за пределы производственной площадки, предусмотрено:

- Обвалование площадок, где возможен разлив продукта;
- Дренажные емкости для сбора возможных разливов продукта и загрязнения при этом дождевых и талых вод и последующем отведением их в систему ППД для совместного использования в технологическом процессе;

Сточные воды канализации проходят механическую очистку и доочистку на биологических очистных сооружениях завода.[15]

Воздействие объекта на литосферу

На предприятии в процессе производства образуется около 20 тонн твердых отходов.

Таким образом, химические предприятия "вырабатывают" большое количество твердых, серосодержащих и пожароопасных отходов.

Таблица 6– Утилизация твердых отходов [11]

Наименование отхода	Место складирования, транспортировка	Периодичность образования	Место захоронения, утилизация
Шлам при чистке аппаратов	Специально оборудованная площадка с металлическими контейнерами для сбора отходов.	В период ремонта и чистки оборудования.	Вывоз на специально отведенное место для захоронения.
Прочие отходы. (Грунт, загрязненный серосодержащими продуктами)	Места накопления отсутствуют	Периодически	Накопление не осуществляется. Сразу после образования вывозится для обезвреживания на шламонакопитель

			ВГНМ ООО «ССЭ».
Мусор от бытовых помещений организаций несортированный (исключая крупногабаритный) *	В закрытой таре в смеси (контейнер V=0.7м ³ , 3 шт.)	1 неделя	Накопление осуществляется в металлических контейнерах. По мере накопления вывозятся для захоронения на полигон ТБО.
Отработанный катализатор	Затаривается в металлические бочки;	По истечению срока службы (5 лет); После регенерации;	Отправляется на переработку.

6.4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Данная установка для получения технической серной кислоты является объектом техногенной опасности, т.е. объектом, на котором хранят, перерабатывают, используют или транспортируют опасные химические вещества, при аварии на котором или при разрушении которого может произойти гибель или химическое заражение людей, растений, а также окружающей среды.

В состав предприятия входят как площадочные опасные производственные объекты (насосы, емкости, резервуары, печи, компрессора), так и линейные (различные линии трубопроводов). Возможны различные аварийные ситуаций: разгерметизация оборудования, трубопроводов, пожары как следствие взрывов при повышенном давлении.[16]

В таблице 7 приведены возможные аварийные ситуации и способы устранения.

Таблица 7 - Возможные виды аварийного состояния производства и способы их устранения [11]

Возможные производственные аварийные ситуации	Причины возникновения производственных аварийных ситуация	Действия персонала по предупреждению и устранению производственных аварийных ситуаций
Взрывы, пожары, разгерметизация трубопровода	Несоблюдение режима ведения процесса, разгерметизация оборудования и трубопроводов, разлив взрыво-пожароопасных веществ	1. Необходимо вызвать пожарную охрану и бригаду скорой помощи; 2. Включение звуковой аварийной сигнализации.
		3. Перекрыть подачу теплоносителей. Прекратить подачу сырья.
		4. Сброс давления.

		5. Остановка остального оборудования.
Протечки в запорно-регулирующей арматуры / аппарата	Разгерметизация запорно-регулирующей арматуры / аппарата	1. Сообщить начальнику цеха или мастеру установки; 2. Ликвидация протечек с остановкой оборудования (если не возможно устранить по другому)
		3. Ликвидировать протечки без остановки оборудования.
Сбой системы электроснабжения	Неполадки в системе электроснабжения	1. Сообщить начальнику цеха или мастеру установки; 2. Перекрыть подачу топлива к горелкам печей.
		3. Подать пара на паровую завесу печей.
		4. Проконтролировать отключение всего насосно-компрессорного оборудования.
Повышенная вибрация насоса	1. Неправильная центровка электродвигателя с насосом	1.1. Отцентрировать насос
Давление на приеме насоса ниже нормы	1. Нарушение режима сепарации; 2. Засорен фильтр входного трубопровода; 3. Неисправность или неполное открытие задвижки;	1. Отрегулировать режим сепарации; 2. Очистить сетку; 3. Открыть задвижку, отремонтировать задвижку;

Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Для работников, занятых на работах с вредными или опасными условиями труда, законодатель установил:

1. На тяжелых и физических работах с вредными (особо вредными), опасными (особо опасными) условиями труда запрещается применение труда женщин.
2. Лицам, не достигших восемнадцатилетнего возраста, работа с вредными (особо вредными), опасными (особо опасными) условиями труда запрещается.
3. При приеме на работу с вредными (особо вредными), опасными (особо опасными) условиями труда проводится обязательные медицинские осмотры работников. [17]

Таким образом, при отнесении условий труда к вредными (особо вредными), опасными (особо опасными) работникам, занятым на рабочем месте, которое относится к вредными (особо вредными), опасными (особо опасными) должны предоставляться компенсации не ниже предусмотренных постановлением Правительства РФ от 20.11.2008 № 870.

В соответствии с п. 1 данного постановления работникам, занятым на перечисленных видах работ, установлены следующие компенсации:

- сокращенная продолжительность рабочего времени - не более 36 часов в неделю в соответствии со ст. 92 ТК РФ;
 - ежегодный дополнительный оплачиваемый отпуск - не менее 7 календарных дней;
- повышение оплаты труда - не менее 4% тарифной ставки (оклада), установленной для различных видов работ с нормальными услови

7. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Объектом исследования являлся кожухотрубчатый теплообменник типа ТН предназначенный для охлаждения серной кислоты на производстве медеплавильного завода АО «Алмалыкский ГМК» .

В процессе работы был проведен расчет материального, теплового балансов, технологический, конструктивно-механические расчеты . По полученным данным были разработаны чертежи . В экономической части проанализировали: увеличение рентабельности производства, увеличение выручки; увеличение чистой прибыли;.

Предусмотрены мероприятия для обеспечения безопасных условий труда, техники безопасности, пожаро-взрывобезопасности, про санитарии и охраны окружающей среды.

Список использованной литературы

1. Павлов К.Ф., Романков П.Г., Носков А.А. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии.- 9-е изд.- Л.: Химия, 1981.-560с.
2. Семакина О.К. Машины и аппараты химических производств. Ч. I.Учеб. Пособие /Том. политехн. ун-т. – Томск, 2003 – 118 с.
- 3.Лацинский А.А., Толчинский А.Р. Основы конструирования и расчета химической аппаратуры: Справочник. 3-е изд., стереотипное. – М.: ООО ИД «Альянс», 2008. – 752 с.
4. Теплообменное оборудование для нефтегазовой промышленности.
5. ГОСТ Р 52857.1-2007 "Общие Требования".
6. А. А. Лацинский, А. Р. Толчинский. "Основы конструирования и расчет химической аппаратуры" .Справочник.
7. К. Ф. Павлов, П. Г. Романков, А. А. Носков. "Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии".
8. ГОСТ Р 52857.2-2007 "Нормы и методы расчета на прочность".
9. ОСТ 26 291 "Сосуды и аппараты стальные сварные. Общие технические условия".
10. ГОСТ Р 52857.3-2007 "Укрепление отверстий в обечайках и днищах при внутреннем в внешнем давлениях".
11. ГОСТ Р 52857.4-2004 " Расчет фланцевых соединений".
12. ГОСТ Р 52857.7-2007 Сосуды и аппараты нормы и методы расчета на прочность. Теплообменные аппараты.
13. М. Ф. Михалева. "Расчет и конструирование машин и аппаратов химических производств". Примеры и задачи.
14. ОСТ 26 – 2091 – 93. Опоры горизонтальных сосудов и аппаратов. Конструкция.
15. ГОСТ 28759.3-90 Фланцы сосудов и аппаратов стальные приварные встык.
16. АТК 24.218.06-90 Штуцера для сосудов и аппаратов стальных сварных. Типы, основные параметры, размеры и общие технические требования.
17. ГОСТ 28759.8-90 - «Прокладки металлические восьмиугольного сечения»
18. Дытнерский Ю.И. Основные процессы и аппараты химической технологии. Пособие по проектированию 1991.
19. ГОСТ 2184 – 2013. Кислота серная техническая. Технические условия.
20. ГОСТ 12.1.007 – 76. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности.
21. ГОСТ 12.1.005. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.
22. ГОСТ 12.4.011–89 ССБТ. Средства защиты работающих. Общие требования и классификация.
23. СНиП 23-05-95 «Естественное и искусственное освещение».
24. ГОСТ 12.1.003–83 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности.
25. СП 51.13330.2011. Защита от шума.
8. ГОСТ Р 12.1.019-2009 ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.
- 26 ГОСТ 12.1.004. – 91. Пожарная безопасность. Общие требования.
27. Горячев С.А., Клубань В.С. Пожарная профилактика технологических процессов производств. М.: ВИПТШ МВД СССР, 1983.
28. Технологический регламент «Установка гидродепарафинизации дизельного топлива».

29. РД 153-34.0-03.702-99. Инструкция по оказанию первой помощи при несчастных случаях на производстве.
30. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200–03. Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и иных объектов.
31. ГН 2.1.6.1338 – 03. Предельно-допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест.
32. ГОСТ 17.1.3.13–86. Охрана природы. Гидросфера. Общие требования к охране поверхностных вод от загрязнений.
33. ГОСТ Р 22.9.22. – 2014. Безопасность в чрезвычайных ситуациях.