

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

Институт физики высоких технологий
Направление подготовки «Энерго и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии»
Кафедра Общей химии химической технологии

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Установка получения легкого дизельного топлива с разработкой испарителя

УДК 665.75.621:182.12

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2К32	Меньшов Павел Владимирович		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Семакина Ольга Константиновна	Кандидат технических наук		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры МЕН	Рыжакина Татьяна Гавриловна	Кандидат экономических наук		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент кафедры ЭБЖ	Раденков Тимофей Александрович			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. Кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ОХХТ	Ан В.В	Кандидат технических наук		

Томск – 2017 г.

Перечень результатов обучения (профессиональных и универсальных компетенций), запланированных к достижению выпускниками данной образовательной программы

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования 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 ресурсосберегающее оборудование 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 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 здоровья и безопасности 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 <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования 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 течение всего периода профессиональной деятельности.	Требования ФГОС (ОК-6,7,8), Критерий 5 АИОР (2.6)
Р11	Владеть иностранным языком на уровне, позволяющем 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 Физики Высоких Технологий

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
2К32	Меньшов Павел Владимирович

Тема работы:

УСТАНОВКА ПОЛУЧЕНИЯ ЛЕГКОГО ДИЗЕЛЬНОГО ТОПЛИВА С РАЗРАБОТКОЙ ИСПАРИТЕЛЯ	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	2056/с от 24.03.17
Срок сдачи студентом выполненной работы:	01.06.2017

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе</p> <p><i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<p><u>Кожухотрубчатый испаритель.</u></p> <p><u>Теплоносители:</u></p> <p>Горячий – тяжелое дизельное топливо: $T_H=290\text{ }^{\circ}\text{C}$, $T_K=270\text{ }^{\circ}\text{C}$; Холодный – легкое дизельное топливо: $T_H=-190\text{ }^{\circ}\text{C}$, $T_K=250\text{ }^{\circ}\text{C}$; Давление в трубном пространстве: 0,6 МПа; Давление в межтрубном пространстве: 0,25 МПа; <u>Исполнение по материалу М1:</u> Кожух – 09Г2С, Распределительная камера – 09Г2С, Теплообменная труба – 09Г2С, Трубная решётка – 09Г2С. Режим работы: непрерывный; Требования к эксплуатации и обслуживанию: простота ремонта и доступность запчастей.</p>
---	---

<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</p> <p><i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<p>Тепловой, конструктивный, механический, гидравлический расчеты, а также раздел социальной ответственности и финансового менеджмента, ресурсоэффективности и ресурсосбережения</p>
<p>Перечень графического материала</p> <p><i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<p>Лист 1. Технологическая схема А1; Лист 2. Общий вид теплообменника А0; Лист 3. Изометрия с вырезом 1/4 А0; Лист 4. Техничко-экономические показатели А1.</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>Рыжакина Татьяна Гавриловна</p>
<p>Социальная ответственность</p>	<p>Романцов Игорь Иванович</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>Ученая степень, звание</p>		<p>Подпись</p>	<p>Дата</p>
<p>Доцент</p>	<p>Семакина Ольга Константиновна</p>	<p>к.т.н.</p>		

Задание принял к исполнению студент:

<p>Группа</p>	<p>ФИО</p>	<p>Подпись</p>	<p>Дата</p>
<p>2К32</p>	<p>Меньшов Павел Владимирович</p>		

Реферат

Данная бакалаврская работа включает в себя расчет аппарата для испарения легкой дизельной фракции. Произведены тепловой, конструктивный и механический расчеты оборудования. В механическом расчете были произведены расчеты толщин стенок, укрепления отверстий, фланцевого соединения и седловых опор.

В разделе «Социальная ответственность» рассмотрены вопросы обеспечения безопасной работы персонала и охраны окружающей среды.

В разделе «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» построен график безубыточности и рассчитаны технико-экономические показатели.

Цель работы, расчет и выбор испарителя.

Установлено, что выбранный теплообменник удовлетворяет всем условиям технологического процесса.

Дипломный проект состоит из графической части и пояснительной записки. Графическая часть состоит из 2 листов форматом А0 и листов форматом А1. Пояснительная записка состоит из 95 страниц, 21 таблица, 10 рисунков и 20 источников литературы

Abstract

This bachelor's work includes calculating the apparatus for evaporation of light diesel fraction. Thermal, constructive and mechanical calculations of the equipment were made. In the mechanical calculation, the wall thicknesses, the reinforcement of the holes, the flange connection and the saddle supports were calculated.

In the section "Social responsibility" the issues of ensuring the safe operation of personnel and protection of the environment are considered.

In the section "Financial Management, Resource Efficiency and Resource Saving" a break-even schedule was constructed and technical and economic indicators were calculated.

Purpose of work, calculation and selection of the evaporator.

It is established that the selected heat exchanger satisfies all the conditions of the technological process.

The diploma project consists of a graphic part and an explanatory note.

The graphic part consists of 2 sheets of A0 format and sheets of A1 format. Explanatory note consists of 95 pages, 21 tables, 10 drawings and 20 Sources of

Содержание

Введение	9
1. Описание технологической схемы	12
2. Расчет кожухотрубчатого испарителя	13
2.1 Тепловой расчет	13
2.2 Конструктивный расчет	21
2.2.1 Расчет и подбор штуцеров	22
2.3 Механический расчет	24
2.3.1 Расчетные параметры	24
2.3.2 Определение температурных деформаций	26
2.3.3 Расчет толщин стенок	27
2.3.4 Расчет развальцовки	31
2.3.5 Расчет фланцевого соединения	32
2.3.6 Расчет укрепления отверстий	41
2.3.7 Расчет теплообменника на прочность	46
2.3.7.1 Исходные данные	46
2.3.7.2 Вспомогательные величины	47
2.3.7.3 Расчет толщины трубной решетки	51
2.3.7.4 Проверка прочности трубной решетки	51
2.3.7.5 Проверка прочности и устойчивости кожуха	52
2.3.7.6 Расчет трубы на прочность, устойчивость и жесткость.	52
2.3.7.7 Перегородки между ходами по трубному пространству кожухотрубчатых Т/О	52
2.3.8 Расчет аппарата от воздействия опорных нагрузок	53
2.3.8.1 Расчет веса аппарата	53
2.3.8.2 Подбор и расчёт опоры	54
2.4 Гидравлический расчет	64
2.5 Расчет строповых устройств.	65
2.6 Расчет тепловой изоляции	66
3. Социальная ответственность	69
4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	86
Заключение	94
Список использованных источников	95
Приложение	97

Введение

При производстве дизельного топлива главную роль играет правильный подход к этапам самого технологического процесса, для гарантий высокого качества получаемого продукта. Весь процесс проходит под четким контролем в специализированных цехах заводов, занимающихся переработкой нефти.

Три технологических этапа производства дизельного топлива

Процесс производства дизельного топлива состоит из трех основных этапов: первичная переработка, вторичная переработка и смешение всех компонентов топлива.

На первом этапе, этапе первичной переработки, нефть подвергается обезвоживанию. После чего для получения очищенной нефти из нее удаляются механические примеси. Очищенная таким образом нефть поступает в систему ректификационных колонн, предназначенных для ее перегонки. Ректификационные колонны – это именно та часть нефтеперерабатывающего комплекса, где нефть разделяется на различные фракции: бензин, керосин, дизель, мазут. Этот ключевой процесс называется ректификацией. Отделенный от остальных фракций дизель подается в систему вторичной переработки.

В процессе вторичной переработки в дизельной фракции изменяется химический состав и содержание углеводородов. Это обеспечивает процесс крекинга (дословно с английского – расщепления), который бывает термическим и каталитическим. При термическом крекинге на фракционную смесь воздействуют высокие температуры, а в процессе каталитического крекинга фракция подвергается химической реакции, протекающей в присутствии катализатора. После прохождения крекинга дизель очищается от серы, являющейся причиной вредных выбросов при сгорании. Такая очистка позволяет обеспечить соответствие дизельного топлива экологическому классу.

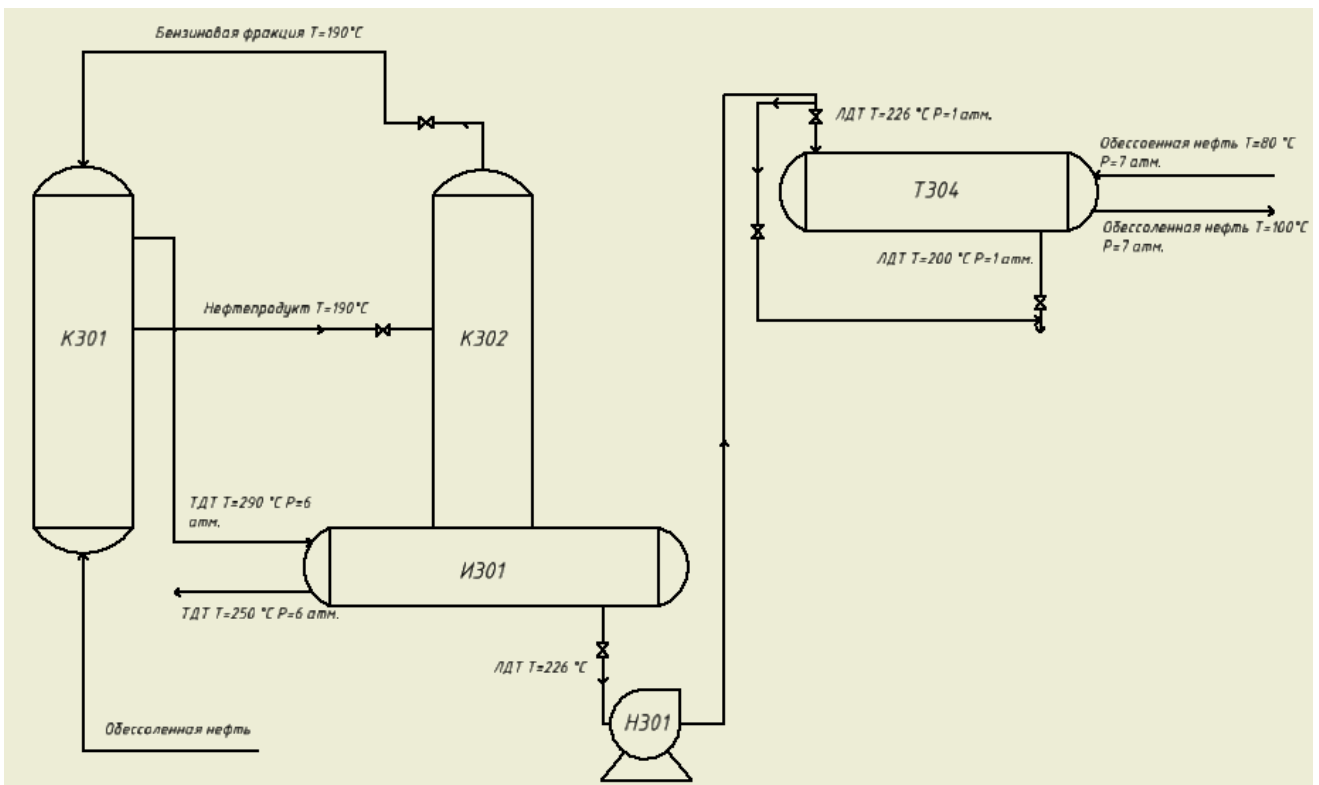
Наконец, в качестве финального процесса изготовления дизельного топлива производится смешение прямогонных фракций с дизельными и антигелевыми присадками, и другими компонентами, которые были получены в ходе вторичных процессов. Дизельные присадки необходимы для улучшения потребительских свойств топлива, например, увеличения цетанового числа, повышения смазывающей способности, снижению коррозии и других. Антигелевые присадки позволяют использовать дизельное топливо в зимних условиях, предотвращая ее загустевание, образование и выпадение парафина.

Дизельное топливо является одним из наиболее применяемых продуктов нефтеперерабатывающей промышленности. Его используют в качестве топлива для достаточно большого количества автомобилей на дизельных двигателях.

Повышенный спрос данного продукта обуславливает постоянную потребность в нем предприятий, частных лиц.

1. Описание технологической схемы

Поток флегмы (смесь бензиновой и дизельной фракций) с девятой тарелки основной атмосферной колонны К301, являющийся питанием для отпарной колонны К302, поступает в нее с температурой 190°C. Колонна К302 – насадочная, работающая при избыточном давлении 0,25 Мпа. Температура укрепляющей части колонны - 250 °С. В колонне происходит отпаривание бензиновой фракции от легкой дизельной за счет подачи в трубное пространство испарителя И301, сблокированного с колонной, горячего теплоносителя – тяжелой дизельной фракции с 21й тарелки атмосферной колонны при температуре 290°C. Давление в трубном пространстве испарителя 0,6 Мпа. Легкая дизельная фракция выходит из испарителя с температурой 270°C. Уровень дизельной фракции поддерживается переливной перегородкой. Далее поток поступает дизельной фракции поступает на охлаждение в теплообменник Т304, в межтрубное пространство которого подается холодный теплоноситель – обессоленная нефть с температурой 85°C. Теплообменник работает под избыточным давлением 2.5 Мпа. После охлаждения до 274°C дизельная фракция отправляется на последующее охлаждение в других теплообменниках и затем в емкость для хранения, а обессоленная нефть – на нагрев до более высоких температур в других теплообменниках.



2. Расчет кожухотрубчатого испарителя

2.1 Тепловой расчет

Дано:

$G_1 := 1.46 \frac{\text{кг}}{\text{с}}$ Количество испаряемого ЛДТ(бензиновой фракции)

$G_2 := 2.9 \frac{\text{кг}}{\text{с}}$ Количество охлаждаемого ТДТ

$x_{\text{бф}} := 0.11$ Массовая доля бензиновой фракции

$x_{\text{д}} := 1 - x_{\text{бф}} = 0.89$ Массовая доля дизельного топлива

$t_{\text{нач.лдт}} := 190$ Начальная температура дизельно-бензиновой смеси

$t_{\text{конд.лдт}} := 250$ Температура конденсации ЛДТ(бензиновой фракции)

$t_{\text{тдт.вх}} := 290$ Температура ТДТ на входе

$t_{\text{тдт.вых}} := 250$ Температура ТДТ на выходе

$P_t := 0.6 \text{ МПа}$ Давление в трубах аппарата

$P_k := 0.25 \text{ МПа}$ Давление в кожухе аппарата

$\rho_{см} := 840 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ Плотность дизельно бензиновой смеси

$\rho_{кп} := 7.213 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ Плотность конденсируемого пара

$C_{бф} := 2719.1 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$ Средняя удельная теплоемкость бензиновой фракции

$C_{дт} := 1810 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$ Средняя удельная теплоемкость ДТ

$C_{см} := 1910 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$ Средняя удельная теплоемкость смеси

$M_{б} := 115 \frac{\text{г}}{\text{моль}}$ Молекулярная масса бензиновой фракции

$M_{д} := 173 \frac{\text{г}}{\text{моль}}$ Молекулярная масса дизельного топлива

Расчет ведем согласно с [1]

Для определения температуры кипения смеси нам потребуется содержание бензиновой фракции в мольных долях (или % мол.)

$$x_б := \frac{\frac{x_{бф} \cdot 100}{M_б}}{\frac{x_{бф} \cdot 100}{M_б} + \frac{(100 - x_{бф} \cdot 100)}{M_д}} = 0.157$$

Рисунок 1 Температурная схема процесса

При $x_б = 0.157$ температура кипения смеси равна:

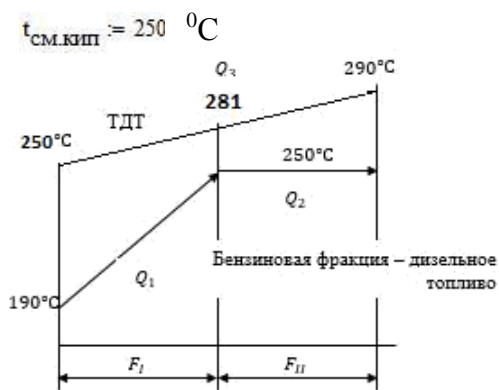


Рисунок 1 – Температурная схема процесса

Q_1 - тепло, необходимое для нагрева смеси до $t_{кип}$;

Q_2 - тепло, необходимое для испарения смеси;

Q_3 - тепло, отдаваемое ДТ;

$Q_{п}$ - тепловые потери (принято 5%).

Из рис. XI [1, с. 562] определим теплоемкость смеси при средней температуре

$$t_{\text{см.ср}} := \frac{t_{\text{нач.лдт}} + t_{\text{см.кип}}}{2} = 220 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Теплоемкость смеси равна:

$$C_{\text{см}} = 1.91 \times 10^3 \quad \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$$

Найдем удельную теплоту испарения смеси при температуре $t_{\text{см.ср}}$

$$r_{\text{б}} := 300000 = 3 \times 10^5 \quad \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$$

$$r_{\text{д}} := 250000 = 2.5 \times 10^5 \quad \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$$

$$r_2 := r_{\text{б}} \cdot x_{\text{бф}} + r_{\text{д}} \cdot x_{\text{д}} = 2.555 \times 10^5 \quad \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$$

Расчет зоны нагревания и испарения теплообменника

Рассчитываем I зону - зону нагревания.

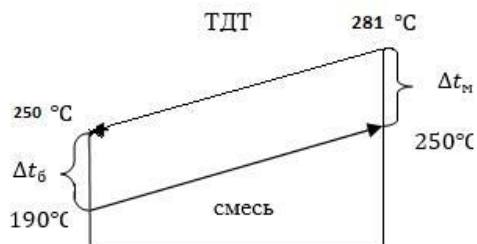


Рис. 2 Схема зоны нагревания

$$\Delta t_{\text{б}} := 250 - 190 = 60 \quad ^\circ\text{C}$$

$$\Delta t_{\text{м}} := 281 - 250 = 31 \quad ^\circ\text{C}$$

$$\Delta T := 290 - 281 = 9 \quad ^\circ\text{C}$$

$$\Delta t := 250 - 190 = 60 \quad ^\circ\text{C}$$

$$A_{\text{max}} := \sqrt{\Delta T^2 + \Delta t^2} = 60.671 \quad ^\circ\text{C}$$

$$\Delta t_{\text{ср1}} := \frac{A}{\ln \left(\frac{\Delta t_{\text{б}} + \Delta t_{\text{м}} + A}{\Delta t_{\text{б}} + \Delta t_{\text{м}} - A} \right)} = 37.693 \quad ^\circ\text{C}$$

где $\Delta t_{\text{б}}$ и $\Delta t_{\text{м}}$ - большая и меньшая разности температур теплоносителей на границе раздела зон теплообмена

Рассчитываем II зону - зону испарения.

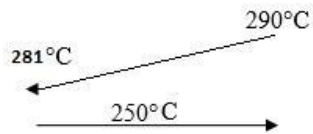


Рис.3 Схема зоны испарения

Движущая сила процесса в зоне испарения:

$$\Delta t_{cp2} := t_{гдг.вх} - t_{см.кип} = 40$$

Предварительный выбор теплообменника - испарителя

Ориентировочный расчет площади теплопередающей поверхности

Используя формулу $Q=K \cdot F \cdot \Delta t_{cp}$, взяв за основу ориентировочное значение коэффициента теплопередачи, рассчитываем площадь поверхности теплообмена

I зона:

Ориентировочные значения коэффициента теплопередачи. От жидкости к жидкости (углеводороды, масла):

$$K_{op.min1} := 120 \quad \frac{Вт}{м^2 \cdot К} \quad K_{op.max1} := 270 \quad \frac{Вт}{м^2 \cdot К}$$

$$Q_1 := G_1 \cdot C_{см} \cdot (t_{см.кип} - t_{нач.гдг}) = 1.673 \times 10^5 \quad Вт$$

Требуемая площадь теплообмена:

$$F_{min1} := \frac{Q_1}{K_{op.max1} \cdot \Delta t_{cp1}} = 16.44 \quad м^2$$

$$F_{max1} := \frac{Q_1}{K_{op.min1} \cdot \Delta t_{cp1}} = 36.991 \quad м^2$$

II зона:

Ориентировочные значения коэффициента теплопередачи.

От конденсирующего пара к кипящей жидкости (испарители):

$$K_{op.min2} := 300 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}} \quad K_{op.max2} := 2500 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$$

$$Q_2 := G_1 \cdot r_2 = 3.73 \times 10^5 \quad \text{Вт}$$

Требуемая площадь теплообмена:

$$F_{min2} := \frac{Q_2}{K_{op.max2} \cdot \Delta t_{cp2}} = 3.73 \quad \text{м}^2$$

$$F_{max2} := \frac{Q_2}{K_{op.min2} \cdot \Delta t_{cp2}} = 31.086 \quad \text{м}^2$$

Суммарная требуемая поверхность:

$$F_{min} := F_{min1} + F_{min2} = 20.171 \quad \text{м}^2$$

$$F_{max} := F_{max1} + F_{max2} = 68.077 \quad \text{м}^2$$

Задаваясь числом Рейнольдса и диаметром труб 20x2 мм найдем количество труб (режим движения жидкости турбулентный):

$$Re1 := 11000$$

$$\mu_2 := 0.5 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с} \quad \text{Динамическая вязкость ГДТ}$$

$$\rho_{ГДТ} := 850 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \quad \text{Плотность ГДТ}$$

$$d_{внутр} := 0.016 \text{ м}$$

$$n_z := \frac{4 \cdot G_2}{\pi \cdot 0.016 \cdot \mu_2 \cdot Re1} = 41.959 \quad \text{Максимальное количество труб на ход, для сохранения турбулентного режима движения жидкости}$$

Подбор стандартного теплообменника на основе ориентировочного значения поверхности теплопередачи

Выбираем аппарат по подходящим приведенным параметрам из [2].

Табл. 1 Параметры выбранного аппарата

Диаметр кожуха (внутренний), мм	Число труб		Длина труб, м
	Общее	На один ход	4 Площадь поверхности теплообмена, м ² (по d _{нар})
325	90	45	22.5

$$d_{внутр} := 0.016 \text{ м}$$

$$F := 22.5 \text{ м}^2$$

$$d_{нар} := 0.02 \text{ м}$$

$$N := 90$$

Проверочный расчет выбранного аппарата

1) Коэффициент теплоотдачи от легкого дизельного топлива к стенке в зоне нагревания
Значение теплофизических величин выбираются из таблиц при температуре пленки конденсата

$$T_1 := 290 \quad ^\circ\text{C}$$

$$t_{\text{ст}} := T_1 - 0.1 \cdot \Delta t_{\text{ср1}} = 286.231 \quad ^\circ\text{C}$$

$$t_{\text{пл}} := \frac{T_1 + t_{\text{ст}}}{2} = 288.115 \quad ^\circ\text{C}$$

Теплофизические величины:

$$\rho_{\text{лдт}} := 800 \quad \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \quad \text{Плотность легкого дизельного топлива}$$

$$\mu_1 := 0.5 \cdot 10^{-3} \quad \text{Па} \cdot \text{с} \quad \text{Динамическая вязкость ДТД}$$

$$\lambda_1 := 0.54 \quad \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}} \quad \text{Коэффициент теплопроводности}$$

Коэффициент теплоотдачи:

$$\alpha_1 := 3.78 \cdot \lambda_1 \cdot \sqrt{\frac{\rho_{\text{лдт}}^2 \cdot N \cdot d_{\text{нар}}}{\mu_1 \cdot G_1}} = 8.109 \times 10^4 \quad \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$$

2) Коэффициент теплоотдачи от стенки к ТДТ в зоне нагрева
При средней температуре $t_{\text{ср}} = 270 \text{ C}$ теплофизические величины:

Плотность:

$$\rho_{\text{б}} := 750 \quad \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \quad \text{плотность бензиновой фракции}$$

$$\rho_{\text{д}} := 840 \quad \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \quad \text{плотность тяжелого дизельного топлива}$$

$$\rho_2 := \frac{1}{\frac{x_{\text{бф}}}{\rho_{\text{б}}} + \frac{x_{\text{д}}}{\rho_{\text{д}}}} = 829.056 \quad \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

Скорость ТДТ в трубах:

$$\omega := \frac{G_2}{\rho_2 \cdot 0.785 \cdot d_{\text{внутр}}^2 \cdot 45} = 0.387 \quad \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$$\lambda_2 := 0.54 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}} \quad \text{Коэффициент теплопроводности}$$

Критерий Прандтля

$$\text{Pr}_2 := 6.22$$

Критерий Рейнольдса

$$\text{Re}_2 := \frac{\omega \cdot 0.016 \cdot \rho_2}{\mu_2} = 1.026 \times 10^4$$

$$\text{Re}_2 > 10000$$

Режим движения турбулентный, следовательно

$$\text{Nu}_2 := 0.24 \cdot \text{Re}_2^{0.6} \cdot \text{Pr}_2^{0.36} = 118.226$$

$$\alpha_2 := \frac{(\text{Nu}_2 \cdot \lambda_2)}{d_{\text{внутр}}} = 3.99 \times 10^3 \quad \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$$

3) Температурное сопротивление стенки:

$$r_{\text{ст1}} := \frac{1}{5800} \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}} \quad \text{термическое сопротивление загрязнения стенки со стороны пара}$$

$$r_{\text{ст2}} := \frac{1}{5800} \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}} \quad \text{термическое сопротивление загрязнения стенки со стороны смеси}$$

Коэффициент теплопроводности для стали

$$\lambda_{\text{ст}} := 17.5 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}}$$

Тогда температурное сопротивление стенки будет равно

$$r_{\text{ст}} := r_{\text{ст1}} + r_{\text{ст2}} + \frac{0.002}{\lambda_{\text{ст}}} = 4.591 \times 10^{-4} \quad \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}}$$

Коэффициент теплопередачи:

$$K := \frac{1}{\frac{1}{\alpha_2} + r_{\text{ст}} + \frac{1}{\alpha_1}} = 1.385 \times 10^3 \quad \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$$

Площадь теплообмена

$$F_1 := \frac{Q_2}{K \cdot \Delta t_{\text{ср1}}} = 7.146 \text{ м}^2$$

Коэффициент теплоотдачи от ЛДТ к стенке в зоне испарения

$$\alpha_{1, \text{взв}} := 3.78 \cdot \lambda_1 \cdot \sqrt[3]{\frac{\rho_{\text{ЛДТ}}^2 \cdot N \cdot d_{\text{нар}}}{\mu_1 \cdot G_1}} = 2.474 \times 10^3 \quad \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$$

Коэффициент теплоотдачи от стенки к смеси в зоне испарения

$$b := 0.11$$

$$\sigma := 26 \cdot 10^{-3} \quad \text{поверхностное натяжение, Н/м}$$

$$T_{\text{кип}} := 250 \quad \text{°C}$$

$$\Delta T_{\text{кип}} := t_{\text{ст}} - T_{\text{кип}} = 36.231 \quad \text{°C}$$

$$\alpha_{2, \text{взв}} := b^3 \cdot \frac{\lambda_1^2 \cdot \rho_{\text{кип}} \cdot \Delta T_{\text{кип}}^2}{\mu_1 \cdot \sigma \cdot T_{\text{кип}}} = 1.131 \times 10^3 \quad \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$$

Температурное сопротивление стенки

$$r_{\text{загр}} := \frac{1}{5800} \quad \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}} \quad \text{термическое сопротивление загрязнения труб со стороны пара}$$

$$r_{\text{загр}} := \frac{1}{11600} \quad \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}} \quad \text{тепловое сопротивление загрязнения смеси со стороны ТДТ}$$

Коэффициент теплопроводности для стали

$$\lambda_{\text{ст}} := 17.5 \quad \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$$

Тогда температурное сопротивление стенки будет равно

$$r_{\text{ст}} := r_{\text{ст1}} + r_{\text{ст2}} + \frac{0.002}{\lambda_{\text{ст}}} = 3.729 \times 10^{-4} \quad \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}}$$

Коэффициент теплопередачи

$$K := \frac{1}{\frac{1}{\alpha_2} + r_{\text{ст}} + \frac{1}{\alpha_1}} = 601.89 \quad \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$$

Площадь теплообмена:

$$F_2 := \frac{Q_2}{K \cdot \Delta t_{\text{м}}} = 19.992 \quad \text{м}^2$$

$$F_{\text{общ}} := F_1 + F_2 = 27.138 \quad \text{м}^2$$

$$\Delta F := \left| \frac{27 - 22.5}{27} \right| \cdot 100 = 16.667 \quad \%$$

Запас поверхности достаточен

2.2 Конструктивный расчет

Ведется согласно с рекомендациями из [3]

Для трубного пространства

$G := 2.9$ кг/с расход ТДТ в трубках

$\rho := 840$ кг/м³ плотность ТДТ в трубках

$d_B := 0.016$ м внутренний диаметр трубок

$d_H := 0.02$ м наружный диаметр трубок

$F := 22$ м² расчетная поверхность теплообмена

$$\omega := \frac{G}{\rho \cdot 0.785 \cdot d_B^2 \cdot 45} = 0.382$$

$\omega = 0.382$ м/с скорость движения в трубках

Конструктивный расчет:

Площадь проходного сечения трубок одного хода

$$f_1 := \frac{G}{\rho \cdot \omega} = 9.043 \times 10^{-3} \text{ м}^2$$

Число трубок одного хода:

$$n_1 := \frac{f_1}{0.785 \cdot d_B^2} = 45$$

Расчетная длина одной

трубки при одном ходе:

Поскольку $\alpha_{тр} > \alpha_{мтр}$ То

принимаем: $d_p := d_H$

$$L := \frac{F}{\pi \cdot d_p \cdot n_1} = 7.781 \text{ м}$$

Принимаем рабочую длину трубок $l := 4$ м

Число ходов трубного пространства: $Z := \text{ceil}\left(\frac{L}{l}\right) = 2$

Количество труб на трубной решетке рассчитываем по формуле:

$$n := Z \cdot n_1 = 90$$

Диаметр теплообменника находим из соотношения:

Коэффициент заполнения трубной решетки $\eta := 0.8$

Шаг в расположении труб в трубной решетке

$$t := 1.2 \cdot d_H \cdot 1000 + 2 = 26 \text{ мм}$$

$$D_{BH} := 1.1 \cdot t \cdot \sqrt{\frac{n}{\eta}} = 303.349 \text{ мм}$$

Выбираем стандартный теплообменник типа ТН по [2]

$D_{\text{вн}} := 325$ мм Внутренний диаметр теплообменника

$Z = 2$ Число ходов

$n := 90$ Количество труб

$F := 22.5$ м² Поверхность теплообмена, м²

$h := 300$ мм Высота теплообменника равна:

$H := 1 + 2 \cdot h = 4.6 \times 10^3$ мм Высота распределительной камеры

2.2.1 Расчет и подбор патрубков.

$G_{\text{лдт}} := 1.46$ $\frac{\text{кг}}{\text{с}}$ Количество паров ЛДТ

$G_{\text{тдт}} := 2.9$ $\frac{\text{кг}}{\text{с}}$ Количество охлаждаемого ТДТ

$\rho_{\text{лдтпар}} := 7.213$ $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ Плотность паров ЛДТ

$\rho_{\text{лдт}} := 830$ $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ Плотность ЛДТ

$\rho_{\text{тдт}} := 850$ $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ Плотность ТДТ

$\omega_{\text{тдт}} := 0.382$ $\frac{\text{м}}{\text{с}}$ Скорость ТДТ

$\omega_{\text{лдт}} := 0.202$ $\frac{\text{м}}{\text{с}}$ Скорость ЛДТ

$\omega_{\text{лдтпар}} := 23.064$ $\frac{\text{м}}{\text{с}}$ Скорость паров ЛДТ

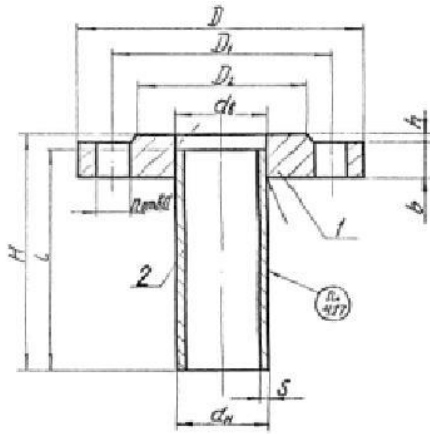


Рис.4 Чертеж штуцера

1. Внутренний диаметр штуцеров для подвода и отвода ТДТ.

Диаметр штуцера равен:

$$d_{\text{ТДТ}} := \sqrt{\frac{4 \cdot G_{\text{ТДТ}}}{\pi \cdot \omega_{\text{ТДТ}} \cdot \rho_{\text{ТДТ}}}} = 0.107 \text{ м при давлении } 0.25 \text{ МПа}$$

Рассчитанный диаметр округляем до ближайшего большего значения в соответствии с нормализованным диаметром условного прохода штуцеров кожухотрубных т/о.

Выбираем стандартный штуцер согласно с [4]

Табл.2 Параметры штуцера

D_y	d_e	D	D_1	D_2	b	h
150	161	260	225	202	17	3
d	n	l	H	d_H	S	Масса, кг
18	8	150	155	159	6,0	7,9
		210	215			9,2

2. Внутренний диаметр штуцеров для подвода и отвода ЛДТ

Диаметр штуцера равен:

$$d_{\text{ЛДТ}} := \sqrt{\frac{4 \cdot G_{\text{ЛДТ}}}{\pi \cdot \omega_{\text{ЛДТ}} \cdot \rho_{\text{ЛДТ}}}} = 0.105 \text{ м при давлении } 0,6 \text{ МПа}$$

Рассчитанный диаметр округляем до ближайшего большего значения в соответствии с нормализованным диаметром условного прохода штуцеров кожухотрубных т/о.

Табл. 3 Параметры выбранного штуцера

D_y	d_e	D	D_1	D_2	b	h
150	161	260	225	202	17	3
d	n	l	H	d_H	S	Масса, кг
18	8	150	155	159	6,0	7,9
		210	215			9,2

Внутренний диаметр штуцеров для отвода паров ЛДТ

$$d_{\text{лдтпар}} := \sqrt{\frac{4 \cdot G_{\text{лдт}}}{\pi \cdot \omega_{\text{лдтпар}} \cdot \rho_{\text{лдтпар}}}} = 0.106 \quad \text{м}$$

Рассчитанный диаметр меньше чем исполнительный ($d_{\text{лдтпар}}=500$ мм), следовательно патрубок, подключаемый к колонне подходит для отвода паров ЛДТ

Табл. 5 Параметры выбранного штуцера

D_y	d_e	D	D_1	D_2	b	h	d
500	534	640	600	570	25	4	22
n	l	H	d_H	S	Масса, кг		
16	200	213	530	12	51,5		
	260	273			60,5		

2.3 Механический расчет испарителя

2.3.1 Расчетные параметры

Расчетное напряжение

Основные характеристики стали определяются согласно с ГОСТ Р 52857.1-2007: допускаемое напряжение, предел текучести, модуль упругости

Рабочая температура в межтрубном пространстве

$$t_{\text{МТР}} := 250 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Рабочая температура в трубном пространстве

$$t_{\text{ТР}} := 290 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Материал, из которого полностью выполнен испаритель 09Г2С, в связи с относительной дешевизной, хорошей штампуемостью и хладостойкостью Допускаемое напряжение материала 09Г2С при температуре $t = 20 \text{ } ^\circ\text{C}$

$$\sigma_{\text{д}20} := 196 \text{ МПа}$$

$$t_{\text{д}} := \begin{pmatrix} 250 \\ 300 \end{pmatrix} \quad \sigma_{\text{д}} := \begin{pmatrix} 162 \\ 151 \end{pmatrix}$$

Допускаемое напряжение материала 09Г2С при рабочей температуре в межтрубном пространстве

$$\sigma_{\text{д}250} := \text{Floor}(\text{linterp}(t, \sigma, t_{\text{МТР}}), 0.5) = 162 \text{ МПа}$$

Допускаемое напряжение 09Г2С при рабочей температуре в трубном пространстве

$$\sigma_{\text{д}290} := \text{Floor}(\text{linterp}(t, \sigma, t_{\text{ТР}}), 0.5) = 153 \text{ МПа}$$

Давление рабочее в межтрубном пространстве $P_{\text{МТР}} := 0.25 \text{ МПа}$

Давление рабочее в трубном пространстве $P_{\text{Т}} := 0.6 \text{ МПа}$

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

$$\phi_{\text{Р}} := 0.9$$

Прибавка к расчетным толщинам конструктивных элементов

Скорость коррозии материала от действия заданной среды:

$$\Pi := 0.01 \text{ мм/ГОД}$$

Срок эксплуатации аппарата:

$$t_{\text{В}} := 10 \text{ лет}$$

Прибавка для компенсации коррозии и эрозии

$$c_1 := \Pi \cdot t_{\text{В}} = 0.1 \text{ мм}$$

Поправка на минусовое отклонение, согласно с [5]

$$c_2 := 0.8 \text{ мм}$$

На утонение стенки элемента сосуда при технологических операциях

$$c_3 := 0.2 \text{ мм}$$

Прибавка к расчетным толщинам конструктивных элементов[6]:

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

Расчет давлений

Давление в трубном пространстве, согласно с [7]:

Расчетное давление в трубном пространстве в рабочих условиях:

$$P_{\text{тр}} := 0.6 \text{ МПа}$$

Давление при гидравлических испытаниях:

$$P_{\text{и1}} := 1.25 \cdot P_{\text{тр}} \cdot \frac{\sigma_{\text{д20}}}{\sigma_{\text{д290}}} \quad P_{\text{и1}} = 0.961 \text{ МПа}$$

Условное давление

$$P_{\text{усл1}} := P_{\text{тр}} \cdot \frac{\sigma_{\text{д20}}}{\sigma_{\text{д290}}} \quad P_{\text{усл1}} = 0.769 \text{ МПа}$$

Давление в межтрубном пространстве согласно с [7]:

Расчетное давление:

$$P_{\text{мтр}} := 0.25 \text{ МПа}$$

Давление при гидравлических испытаниях

$$P_{\text{и2}} := 1.25 \cdot P_{\text{мтр}} \cdot \frac{\sigma_{\text{д20}}}{\sigma_{\text{д250}}} \quad P_{\text{и2}} = 0.378 \text{ МПа}$$

Условное давление

$$P_{\text{усл2}} := P_{\text{мтр}} \cdot \frac{\sigma_{\text{д20}}}{\sigma_{\text{д250}}} \quad P_{\text{усл2}} = 0.302 \text{ МПа}$$

2.3.2 Определение температурных деформаций

Расчет толщины стенок для теплообменника типа ТН, согласно с [7]

$D := 325$ Внутренний диаметр аппарата, мм
 $\phi_{\text{св}} := 0.9$ Коэффициент прочности сварных швов

Расчетная и исполнительные толщины стенок цилиндрической обечайки при внутреннем избыточном давлении:

$$s_p := \max \left[\frac{P_{\text{мгр}} \cdot D}{2 \cdot \sigma_{\text{д250}} \cdot \phi_{\text{св}} - P_{\text{мгр}}}, \frac{P_{\text{и2}} \cdot D}{2 \cdot \sigma_{\text{д20}} \cdot \phi_{\text{св}} - (P_{\text{и2}})} \right] \quad s_p = 0.349 \quad \text{мм}$$

Исполнительная толщина стенки аппарата:

$$s := \text{ceil}(s_p + c) \quad s = 3 \quad \text{мм}$$

Принимаем исполнительную толщину стенки с учетом ряда стандартных толщин:

$$s := 5 \quad \text{мм}$$

Проверка условия применимости формул безмоментной теории:

$$\frac{s - c}{D} = 9.231 \times 10^{-3} < 0.1, \text{ условия применения формул выполняются}$$

Расчет температурных деформаций по [3]

$\alpha_T := 16.6 \cdot 10^{-6} \text{ К}^{-1}$ коэффициент линейного расширения для материала труб

$\alpha_K := 16.6 \cdot 10^{-6} \text{ К}^{-1}$ коэффициент линейного расширения для материала корпуса

$t_K := 220 \text{ } ^\circ\text{C}$ средняя температура в корпусе

$t_T := 281 \text{ } ^\circ\text{C}$ средняя температура в трубах

$n := 90$ количество труб

$E_K := 1.8 \cdot 10^5 \text{ МПа}$ Модуль продольной упругости материала корпуса

$E_T := 1.8 \cdot 10^5 \text{ МПа}$ Модуль продольной упругости материала труб

$d_{\text{н}} := 0.02 \text{ м}$ Наружный диаметр трубок

$d_{\text{в}} := 0.016 \text{ м}$ Внутренний диаметр трубок

$D_{\text{н}} := 0.335 \text{ м}$ Наружный диаметр кожуха

$D_{\text{вн}} := 0.325 \text{ м}$ Внутренний диаметр корпуса

$$F_K := \frac{\pi}{4} \cdot (D_{\text{н}}^2 - D_{\text{вн}}^2) = 5.184 \times 10^{-3} \quad F_T := \frac{\pi}{4} \cdot (d_{\text{н}}^2 - d_{\text{в}}^2) \cdot n = 0.01 \quad \text{м}^2$$

Исходя из условий посчитаем температурные напряжения в корпусе и в трубах:

$$\sigma_K := \frac{(\alpha_T \cdot t_T - \alpha_K \cdot t_K) \cdot E_K \cdot E_T \cdot F_T}{E_T \cdot F_T + E_K \cdot F_K} = 120.767 \quad \text{МПа}$$

$$\sigma_T := \frac{(\alpha_T \cdot t_T - \alpha_K \cdot t_K) \cdot E_K \cdot F_K \cdot E_T}{E_T \cdot F_T + E_K \cdot F_K} = 61.501 \quad \text{МПа}$$

$\sigma_{кд} := 162 \quad \text{МПа}$ Допускаемое напряжение для материала корпуса при рабочей температуре

$\sigma_{тд} := 152 \quad \text{МПа}$ Допускаемое напряжение для материала труб при максимальной температуре, действующей на материал

Несмотря на то, что температурные напряжения меньше допускаемых, но разность температур между теплоносителями составляет 70 градусов, а также для отбензинивания ЛДТ необходимо паровое пространство, то применение теплообменника типа ТН не допустимо, следовательно, выбираем теплообменник типа ТУ

Согласно с [8]

Подбираем стандартный теплообменник типа ТУ с паровым пространством

$D_{\text{вн}}$	$= 800 \quad \text{мм}$	Диаметр кожуха
D_K	$= 500 \quad \text{мм}$	Диаметр распределительной камеры
l	$= 4 \quad \text{м}$	Длина теплообменных труб
d_H	$= 0.02 \quad \text{м}$	Внешний диаметр теплообменных труб
$d_{\text{вн}}$	$= 0.016 \quad \text{м}$	Внутренний диаметр труб
t	$= 0.026 \quad \text{м}$	Шаг расположения труб в трубной решетке
F	$= 40 \quad \text{м}^2$	Поверхность теплообмена
n	$= 104$	Число труб

$$\Delta F := \frac{40 - 21}{40} \cdot 100 = 47.5 \quad \text{Запас поверхности, \%}$$

2.3.3 Расчет толщины стенок.

Расчетная и исполнительные толщины стенок цилиндрической обечайки при внутреннем избыточном давлении находим из [7]:

$$s_{\text{пр}} := \max \left(\left(\frac{P_{\text{мтр}} \cdot D_{\text{вн}}}{2 \cdot \sigma_{\text{д}250} \cdot \phi_p - P_{\text{мтр}}} \right), \left(\frac{P_{\text{и}2} \cdot D}{2 \cdot \sigma_{\text{д}20} \cdot \phi_p - P_{\text{и}2}} \right) \right) \quad s_p = 0.686 \quad \text{мм}$$

Исполнительная толщина стенки аппарата:

$$s := \text{ceil}(s_p + c) \quad s = 3 \quad \text{мм}$$

Принимаем исполнительную толщину стенки с учетом ряда стандартных толщин:

$$s_{\text{ис}} := 5 \text{ мм}$$

Проверка условия применимости формул безмоментной теории

$$\frac{s - c}{D_{\text{вн}}} = 3.75 \times 10^{-3}$$

т.к. $0,00375 < 0,1$, то условия применения формул выполняются

Допускаемое внутреннее избыточное давление вычисляют по формуле:

$$p_{\text{д}} := \frac{[2 \cdot \sigma_{\text{д}250} \cdot \phi_{\text{п}} \cdot (s - c)]}{D_{\text{вн}} + (s - c)} = 1.089 \text{ МПа}$$

Проверка условия прочности стенок, цилиндрической обечайки от действия внутреннего давления

$$p_{\text{д}} = 1.089 \text{ МПа}$$

$$P_{\text{и}2} = 0.378 \text{ МПа}$$

$$\text{Пров1} := \begin{cases} \text{"Проверка условия прочности выполняется"} & \text{if } p_{\text{д}} > P_{\text{и}2} \\ \text{"Проверка условия прочности НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{Пров1} = \text{"Проверка условия прочности выполняется"}$$

Расчет толщины стенки распределительной камеры

Расчетная и исполнительные толщины стенок цилиндрической обечайки при внутреннем избыточном давлении [7].

$$s_{\text{р}} := \max \left(\left(\frac{P_{\text{тр}} \cdot D_k}{2 \cdot \sigma_{\text{д}290} \cdot \phi_{\text{р}} - P_{\text{тр}}} \right), \left(\frac{P_{\text{и1}} \cdot D_k}{2 \cdot \sigma_{\text{д}20} \cdot \phi_{\text{р}} - P_{\text{и1}}} \right) \right) \quad s_{\text{р}} = 1.365 \text{ мм}$$

Исполнительная толщина стенки распределительной камеры:

$$s_{\text{ис}} := s_{\text{р}} + c \quad s = 3.365 \quad s_{\text{ис}} = 5 \text{ мм}$$

Принимаем исполнительную толщину стенки

Так как $\frac{s-c}{D_k} = 6 \times 10^{-3}$ $0,006 < 0.1$, условия применения формул выполняются

Допускаемое внутреннее избыточное давление вычисляются по формуле:

$$P_{\text{дв}} := \frac{[2 \cdot \sigma_{\text{д}290} \cdot \phi_{\text{р}} \cdot (s - c)]}{D_k + (s - c)} = 1.643 \text{ МПа}$$

Допускаемое давление для гидравлических испытаний

$$P_{\text{дн}} := \frac{[2 \cdot \sigma_{\text{д}20} \cdot \phi_{\text{р}} \cdot (s - c)]}{D + (s - c)} = 3.227 \text{ МПа}$$

По условию рабочее давление $P = 0,6$ МПа, а рассчитанное допускаемое давление $P_{\text{д}} = 1,64$ МПа, следовательно допустимо нагружать обечайку рабочим давлением $P = 0,6$ МПа.

Расчет толщины стенки эллиптических крышек корпуса аппарата

Высота эллиптической крышки должна быть найдена из допуска в [7].

$$0.2 < \frac{h}{D_{\text{вн}}} < 0.5$$

$h_{\text{ис}} := 0.25 \cdot D_{\text{вн}}$ где h это высота эллиптической крышки, мм

$$h = 200 \text{ мм}$$

Рассчитаем исполнительную толщину стенки:

$$s_{\text{э,р}} := \max \left(\left(\frac{P_{\text{мтр}} \cdot D}{2 \cdot \sigma_{\text{д}250} \cdot \phi_{\text{р}} - 0.5 P_{\text{мтр}}} \right), \left(\frac{P_{\text{и2}} \cdot D}{2 \cdot \sigma_{\text{д}20} \cdot \phi_{\text{р}} - 0.5 P_{\text{и2}}} \right) \right) \quad s_{\text{э,р}} = 0.348 \text{ мм}$$

$$S_{\text{э}} := s_{\text{э,р}} + c \quad S_{\text{э}} = 2.348 \text{ мм}$$

Принимаем толщину стенки эллиптической крышки:

$$S_{\text{ис}} := 5 \text{ мм}$$

Определим допускаемое давление

В рабочем состоянии

$$P_{д} := \frac{2 \cdot \sigma_{д250} \cdot \phi_p \cdot (S_э - c)}{D_{вн} + 0.5(S_э - c)} \quad P_{д} = 1.091 \quad \text{МПа}$$

При испытаниях

$$P_{д,и} := \frac{2 \cdot \sigma_{д20} \cdot \phi_p \cdot (S_э - c)}{D_{вн} + 0.5(S_э - c)} \quad P_{д,и} = 1.321 \quad \text{МПа}$$

Применимость формул по [7]

$$\frac{S_э - c}{D_{вн}} = 3.75 \times 10^{-3} \quad (0.002 < 0.00375 < 0.1) \quad \text{Формулы применимы}$$

Поскольку у нас с двух сторон к аппарату привариваются эллиптические крышки, то условия совпадают для обеих крышек, следовательно, вторую крышку сделать также толщиной 5 мм.

Расчет толщины стенки эллиптической крышки распределительной камеры

Расчет на прочность эллиптической крышки распределительной камеры по [7]

$D_k := 500$ мм Внутренний диаметр аппарата

Высота эллиптической крышки должна быть найдена из допуска.

$$0.2 < \frac{h}{D_k} < 0.5 \quad h_{\text{доп}} = 0.25 \cdot D_k$$

$h = 125$ мм где h это высота эллиптической крышки, мм

Рассчитаем исполнительную толщину стенки:

$$s_{э,р} := \max \left(\left(\frac{P_{гр} \cdot D_k}{2 \cdot \sigma_{д290} \cdot \phi_p - 0.5 P_{гр}} \right), \left(\frac{P_{ил} \cdot D_k}{2 \cdot \sigma_{д20} \cdot \phi_p - 0.5 P_{ил}} \right) \right) \quad s_{э,р} = 1.364 \quad \text{мм}$$

$$S_{э,р} := s_{э,р} + c \quad S_э = 3.364 \quad \text{мм}$$

Принимаем толщину стенки эллиптической крышки

$$S_{\text{э}} := 5 \text{ мм}$$

Определим допустимое давление

В рабочем состоянии

$$P_{\text{д.р}} := \frac{2 \cdot \sigma_{\text{д}290} \cdot \Phi_{\text{р}} \cdot (S_{\text{э}} - c)}{D_{\text{к}} + 0.5(S_{\text{э}} - c)} \quad P_{\text{д}} = 1.647 \quad \text{МПа}$$

При испытаниях

$$P_{\text{д.и}} := \frac{2 \cdot \sigma_{\text{д}20} \cdot \Phi_{\text{р}} \cdot (S_{\text{э}} - c)}{D_{\text{к}} + 0.5(S_{\text{э}} - c)} \quad P_{\text{д.и}} = 2.11 \quad \text{МПа}$$

Применимость формул по [5, с.14]

$$\frac{S_{\text{э}} - c}{D_{\text{к}}} = 6 \times 10^{-3} \quad (0.002 < 0.006 < 0.1) \quad \text{Формулы применимы}$$

2.3.4 Расчет развальцовки

Определение деформаций под действием давления по [3]:

$$P_{\text{д.р}} := 0.6 \quad \text{МПа}$$

$$P_{\text{к}} := 0.25 \quad \text{МПа}$$

Растягивающие усилие

$$Q := P_{\text{к}} \cdot \frac{\pi}{4} \cdot (D_{\text{к}}^2 - n \cdot d_{\text{н}}^2) + P_{\text{т}} \cdot \frac{\pi \cdot d_{\text{в}}^2}{4} = 0.041 \quad \text{МН}$$

Шаг расположения труб в трубной решетке $t_{\text{т}} := 0.026 \text{ мм}$

Площадь трубной решетки, заключенной между четырьмя трубами:

$$f := 0.866 \cdot t^2 - \frac{\pi \cdot d_{\text{н}}^2}{4} = 2.713 \times 10^{-4} \quad \text{м}^2$$

Усилие на одну трубу при условии равномерного распределения нагрузки на трубы

$$q := \frac{Q}{n} = 3.946 \times 10^{-4} \quad \text{МН}$$

Площадь поперечного сечения стенки трубы, м^2

$$f_{\text{т}} := \frac{\pi}{4} \cdot (d_{\text{н}}^2 - d_{\text{в}}^2) = 1.131 \times 10^{-4}$$

Температурное усилие, приходящееся на одну трубу:

$$q_{\text{т}} := \sigma_{\text{т}} \cdot f_{\text{т}} = 6.956 \times 10^{-3} \quad \text{МН}$$

Тогда, суммарное усилие будет равно:

$$q_{\text{с}} := |q - q_{\text{т}}| = 6.561 \times 10^{-3} \quad \text{МН}$$

Удельная нагрузка от давления на единицу длины окружности развальцовки:

$$\sigma_0 := \frac{q}{\pi \cdot d_{\text{н}}} = 6.28 \times 10^{-3} \quad \frac{\text{МН}}{\text{м}}$$

Так как теплообменник типа ТУ, и трубная решетка всего одна, то принимаем гладкую развальцовку, так как она удовлетворяет условию прочности по давлению

$$\sigma'_0 := 0.04 \frac{\text{МН}}{\text{м}} \quad \text{Допускаемое напряжение для гладкой развальцовки}$$

$$\sigma_0 < \sigma'_0$$

Пров := $\begin{cases} \text{"Условие прочности крепления труб в трубной решетке выполняется"} & \text{if } \sigma_0 < \sigma'_0 \\ \text{"Условие прочности крепления труб в трубной решетке НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$

Пров = "Условие прочности крепления труб в трубной решетке выполняется"

2.3.5 Расчет фланцевого соединения

Расчет фланцевого соединения, соединяющего кожух и распределительную камеру согласно с [9]

Материал обечаек и фланцев 09Г2С

Материал болтов 40Х по [10]

Материал прокладки паронит маслобензостойкий по [11], т.к. среда относительно агрессивна, а также материал подходит по таким параметрам как давление и температура

Фланцы приварные встык

Среда взрывоопасная, поэтому уплотнительная поверхность выбрана типа выступ впадина, рис. 5

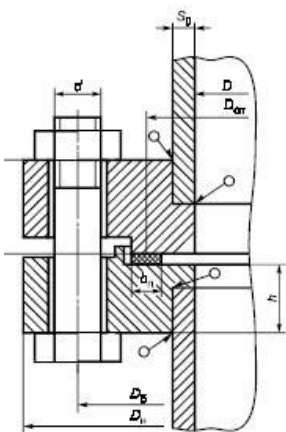


Рис. 5 Изображение фланцевого соединения

Исходные данные

Предварительно выбираем стандартный фланец из [12] со следующими параметрами

$D := 500$ мм Необходимый диаметр для соединения с распределительной камерой

$n := 20$ Количество шпилек

$t := 290$ Расчетная температура, при которой работает фланец °С

$P := 0.967$ МПа Максимальное давление, действующее на фланец

Диаметр фланца наружный $D_{\text{н}} := 670$ мм

Диаметр болтовых отверстий $D_{\text{б.о}} := 620$ мм

Толщина тарелки фланца $h := 24$ мм

Диаметр шпилек $D_{\text{ш}} := 29$ мм

Наружный диаметр прокладки $D_{\text{нп}} := 545$ мм

Шпильки M27

Определение расчетных параметров

Расчетные температуры

Расчетная температура неизолированных фланцев

Расчетная температура шпилек

$$t_{\phi} := 0.85 \cdot t = 246.5 \quad t_{\phi} = 246.5 \quad ^\circ\text{C}$$

$$t_{\text{ш}} := 0.96t \quad t_{\text{ш}} = 278.4 \quad ^\circ\text{C}$$

Допускаемое напряжение для материала шпилек

$$t := \begin{pmatrix} 200 \\ 300 \end{pmatrix} \quad \sigma := \begin{pmatrix} 225 \\ 222 \end{pmatrix}$$

$$\sigma_{\text{д},6} := \text{Floor}(\text{linterp}(t, \sigma, t_{\phi}), 0.5) \quad \sigma_{\text{д},6} = 223.5 \text{ МПа}$$

Модуль упругости для шпилек при рабочей температуре

$$t := \begin{pmatrix} 200 \\ 300 \end{pmatrix} \quad E := \begin{pmatrix} 2.08 \cdot 10^5 \\ 2.01 \cdot 10^5 \end{pmatrix}$$

$$E_{\phi} := \text{Floor}(\text{linterp}(t, E, t_{\phi}), 0.01) \quad E_{\phi} = 2.047 \times 10^5 \text{ МПа}$$

Допускаемое напряжение для шпилек при $t=20^\circ\text{C}$ $\sigma_{20,6} := 230$ МПа

Модуль упругости для шпилек при температуре испытания $E_{20,6} := 2.18 \cdot 10^5$ МПа

Коэффициент линейного расширения стали 40X при $t=20-200^\circ\text{C}$

$$\alpha_{\phi} := 13.4 \cdot 10^{-6} \frac{1}{\text{K}}$$

Поскольку фланцы изготавливаются из того же материала, что и обечайка, то расчетные значения примем такими же как и для материала обечайки.

$\sigma_{\text{д}} := 162$ МПа допускаемое напряжение для стали 09Г2С при рабочей температуре

$\sigma_{\text{д},20} := 196$ МПа допускаемое напряжение для стали 09Г2С при 20°C

$E_{20} := 1.99 \cdot 10^5$ МПа Модуль упругости для стали 09Г2С при 20°C

$E := 1.76 \cdot 10^5$ МПа Модуль упругости для стали 09Г2С при рабочей температуре

$\alpha_{\phi} := 12.6 \cdot 10^{-6} \frac{1}{\text{K}}$ Коэффициент линейного расширения для стали 09Г2С при $t=20-200^\circ\text{C}$

Из рекомендации в [11] выбираем толщину прокладки 3мм, но т.к. условие устойчивости прокладки не выполняется увеличиваем толщину до 5мм

Эффективная ширина плоской прокладки, b_0

$$b_{\text{п}} := 5 \text{ мм}$$

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

Характеристики прокладки по [11]

$m := 2.5$ Прокладочный коэффициент

$q_{обж} := 20$ МПа Удельное давление обжатия прокладки

$q_d := 130$ МПа Допускаемое удельное давление

$K_{обж} := 0.9$ Коэффициент обжатия

$E_{п} := 2000$ МПа Условный модуль сжатия прокладки

Усилие, необходимое для смятия прокладки при затяжке

$$D_{сп} := D_{нп} - b_0$$

$$P_{обж} := 0.5 \cdot \pi \cdot D_{сп} \cdot b_0 \cdot m \cdot |P|$$

$$P_{обж} = 1.025 \times 10^4 \text{ Н}$$

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

$$R_{п} := \begin{cases} (\pi \cdot D_{сп} \cdot b_0 \cdot m \cdot P) & \text{if } P \geq 0 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$R_{п} = 2.051 \times 10^4 \text{ Н}$$

Площадь поперечного сечений шпилек

$$f_{б} := 430 \text{ мм}^2$$

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

$$A_{б} := n \cdot f_{б} \quad A_{б} = 8.6 \times 10^3 \text{ мм}^2$$

Равнодействующая нагрузка от давления

$$Q_{д} := 0.785 \cdot D_{сп}^2 \cdot P \quad Q_{д} = 2.214 \times 10^5 \text{ Н}$$

Приведенная нагрузка, вызванная воздействием внешней силы и изгибающего момента

Поскольку на фланец действует внешний изгибающий момент, за счет веса распределительной камеры, то переведем равномерно распределенную нагрузку в концентрированную и вычислим момент, действующий на фланец

$$M := \frac{925}{2} \cdot 485 = 2.243 \times 10^5 \text{ Н} \cdot \text{мм}$$
 внешний изгибающий момент примем равным нулю, исходя из условий

$$F := 485 \text{ Н}$$
 приведенная нагрузка, вызванная внешней осевой силой или моментом

Тогда:

$$Q_{FM} := F + \frac{4 \cdot M}{D_{сп}} = 2.147 \times 10^3 \text{ Н}$$

Нагрузка, вызванная стесненностью температурных деформаций, рассчитывается по формуле:
Поскольку между фланцами зажата трубная решетка, применяем следующую формулу:

Податливость прокладки

$h_{\Pi} := 30$ мм толщина трубной решетки или закладной детали между прокладками

$$y_{\Pi} := \frac{h_{\Pi} \cdot K_{обж}}{E_{\Pi} \cdot \pi \cdot D_{сп} \cdot b_{\Pi}} = 1.592 \times 10^{-6}$$

Расстояние между опорными поверхностями гаек

$L_{60} := 110$ мм Длина шпильки, найдена исходя из толщины фланцев, прокладки и трубной решетки

$d := 27$ мм внешний диаметр болта, т.к. был выбран болт М27

$$L_6 := L_{60} + 0.56 \cdot d$$

$$L_6 = 125.12 \text{ мм}$$

Податливость шпилек

$$y_6 := \frac{L_6}{E_{206} \cdot A_6} \quad y_6 = 6.674 \times 10^{-8} \quad \frac{\text{мм}}{\text{Н}}$$

Расчетные параметры фланцев:

$s_{ц0} := 5$ мм толщина обечайки

$$S_0 := 24 \text{ мм}$$

параметр длины обечайки

$$l_0 := \sqrt{D \cdot S_0} \quad l_0 = 109.545 \text{ мм}$$

Отношение наружного диаметра тарелки фланца к внутреннему диаметру

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

$$K = 1.34$$

$$\beta_T := \frac{K^2 \cdot (1 + 8.55 \cdot \log(K)) - 1}{(1.05 + 1.945 \cdot K^2) \cdot (K - 1)} \quad \beta_T = 1.779$$

$$\beta_U := \frac{K^2 \cdot (1 + 8.55 \cdot \log(K)) - 1}{1.36 \cdot (K^2 - 1) \cdot (K - 1)} \quad \beta_U = 7.467$$

$$\beta_Y := \frac{1}{K - 1} \left(0.69 + 5.72 \cdot \frac{K^2 \cdot \log(K)}{K^2 - 1} \right) \quad \beta_Y = 6.855$$

$$\beta_Z := \frac{K^2 + 1}{K^2 - 1} \quad \beta_Z = 3.514$$

Коэффициенты для фланцевых соединений с приварными встык фланцами с прямой втулкой, плоскими фланцами и свободными фланцами

$$\beta_F := 0.78 \quad \beta_V := 0.12 \quad f_{\dots} := 8$$

Коэффициент λ

$$\lambda := \frac{\beta_F \cdot h + l_0}{\beta_T \cdot l_0} + \frac{\beta_V \cdot h^3}{\beta_U \cdot l_0 \cdot S_0^2} \quad \lambda = 0.662$$

Угловая податливость фланцев:

Угловая податливость фланца при затяжке

$$y_{\Phi} := \frac{0.91 \cdot \beta_{\gamma}}{\lambda \cdot 10 \cdot S_0^2 \cdot E_{20}} \quad y_{\Phi} = 1.314 \times 10^{-11} \quad \frac{\text{мм}}{\text{Н}}$$

Угловая податливость фланца, нагруженного внешним изгибающим моментом,

$$y_{\Phi H} := \left(\frac{\pi}{4}\right)^3 \cdot \frac{D_{6.o}}{E_{20} \cdot h^3 \cdot D_H}$$

$$y_{\Phi H} = 1.63 \times 10^{-10}$$

Коэффициент, учитывающий изгиб тарелки фланца между шпильками

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

Плечо действия усилий в шпильках для приварных встык и плоских фланцев

$$b_w := 0.5 \cdot (D_{6.o} - D_{сп}) \quad b = 40 \quad \text{мм}$$

Плечо усилия от действия давления на фланец для всех типов фланцев

$$e_w := 0.5 \cdot (D_{сп} - D - S_0) \quad e = 8 \quad \text{мм}$$

Эквивалентная толщина плоских фланцев

$S_{0w} := 24$ мм Толщина фланца в месте соединения с обечайкой

$$S_{0w} := S_0 = 24 \quad \text{мм}$$

Коэффициент жесткости фланцевого соединения для приварных встык фланцев

$$\gamma := \frac{1}{y_{\Pi} + y_6 \cdot \frac{E_{206}}{E_6} + 2 \cdot b^2 \cdot y_{\Phi} \cdot \frac{E_{20}}{E}} \quad \gamma = 5.847 \times 10^{-5}$$

Коэффициент жесткости фланцевого соединения, нагруженного внутренним давлением или внешней осевой силой для приварных встык с плоскими прокладками

$$\alpha := 1 - \frac{y_{\Pi} - 2e \cdot y_{\Phi} \cdot b}{y_{\Pi} + y_6 + 2 \cdot b^2 \cdot y_{\Phi}} \quad \alpha = 0.069$$

Коэффициент жесткости фланцевого соединения, нагруженного внешним изгибающим моментом

$$\alpha_M := \frac{y_6 + 2 \cdot y_{\Phi H} \cdot b \cdot \left(b + e - \frac{e^2}{D_{сп}} \right)}{y_6 + y_{\Pi} \cdot \left(\frac{D_{6.o}}{D_{сп}} \right)^2 + 2 \cdot y_{\Phi H} \cdot b^2} \quad \alpha_M = 0.257$$

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

$$Q_t := \gamma \cdot [2 \cdot \alpha_{\Phi} \cdot h \cdot (t_{\Phi} - 20) - 2 \cdot \alpha_{\sigma} \cdot h \cdot (t_{\sigma} - 20)]$$

$$Q_t = 6.196 \times 10^3 \text{ Н}$$

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

$$P_{61} := \max \left[\alpha \cdot (Q_d + F) + R_{\Pi} + \frac{4 \cdot \alpha_M \cdot M}{D_{\text{сп}}}, \alpha \cdot (Q_d + F) + R_{\Pi} + \frac{4 \cdot \alpha_M \cdot M}{D_{\text{сп}}} - Q_t \right]$$

$$P_{61} = 3.622 \times 10^4 \text{ Н}$$

$$P_{62} := \max(P_{\text{обж}}, 0.4 \cdot A_{\sigma} \cdot \sigma_{20.6})$$

$$P_{62} = 7.912 \times 10^5 \text{ Н}$$

Расчетная нагрузка на шпильки фланцевых соединений при затяжке фланцевого соединения:

$$P_{6M} := \max(P_{62}, P_{61}) \quad P_{6M} = 7.912 \times 10^5$$

Расчетная нагрузка на шпильки фланцевых соединений в рабочих условиях

$$P_{6p} := P_{6M} + (1 - \alpha) \cdot (Q_d + F) + Q_t + \frac{4 \cdot (1 - \alpha_M) \cdot M}{D_{\text{сп}}}$$

$$P_{6p} = 1.005 \times 10^6 \text{ Н}$$

Проверка прочности шпилек и прокладки

Расчетные значения в шпильках

При затяжке:

$$\sigma_{61} := \frac{P_{6M}}{A_{\sigma}} \quad \sigma_{61} = 92 \quad \text{МПа}$$

В рабочих условиях

$$\sigma_{62} := \frac{P_{6p}}{A_{\sigma}} \quad \sigma_{62} = 116.881 \quad \text{МПа}$$

$$\text{Us1_bolt1} := \begin{cases} \text{"Условия прочности при затяжке НЕ выполняются"} & \text{if } \sigma_{61} > \sigma_{20.6} \\ \text{"Условия прочности в рабочих условиях НЕ выполняются"} & \text{if } \sigma_{62} > \sigma_{d.6} \\ \text{"Условия прочности выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{Us1_bolt1} = \text{"Условия прочности выполняются"}$$

$$q := \frac{\max(P_{6M}, P_{6p})}{\pi \cdot D_{\text{сп}} \cdot b_{\Pi}} \quad q = 118.503 \quad \text{МПа}$$

$$\text{Us1_prokl} := \begin{cases} \text{"Условия прочности прокладки НЕ выполняются"} & \text{if } q > q_d \\ \text{"Условия прочности прокладки выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{Us1_prokl} = \text{"Условия прочности прокладки выполняются"}$$

Расчет фланцев на статическую прочность

Расчетный изгибающий момент, действующий на приварной встык фланец при затяжке

$$M_M := C_F \cdot P_{6M} \cdot b \quad M_M = 3.165 \times 10^7 \quad \text{Н}\cdot\text{мм}$$

Расчетный изгибающий момент, действующий на фланец в рабочих условиях

$$M_p := C_F \cdot \max[P_{6p} \cdot b + (Q_d + Q_{FM}) \cdot e, |Q_d + Q_{FM}| \cdot e] \quad M_p = 4.2 \times 10^7 \quad \text{Н} \cdot \text{мм}$$

Расчетные напряжения во фланце при затяжке:

Меридиональное изгибное напряжение во втулке приварного встык фланца

$$c_0 := 1 \text{ мм} \quad \text{прибавка на коррозию}$$

D пр приведенный диаметр фланца

$$S_0 := 85 \quad \text{Ширина фланца, мм}$$

$$h := 48 \quad \text{Толщина фланца, вместе с ответной частью}$$

$$D_{пр} := D + S_0 = 585 \quad \text{мм}$$

$$\sigma_{0M} := \frac{M_M}{\lambda \cdot (S_0 - c_0)^2 \cdot D_{пр}}$$

$$\sigma_{0M} = 11.585 \quad \text{МПа}$$

Напряжение в тарелке приварного встык фланца или плоского в условиях затяжки

Радиальное напряжение

$$\sigma_{RM} := \frac{1.33 \cdot \beta_F \cdot h + l_0}{\lambda \cdot h^2 \cdot l_0 \cdot D} \cdot M_M \quad \sigma_{RM} = 60.378 \quad \text{МПа}$$

Окружное напряжение

$$\sigma_{TM} := \frac{\beta_Y \cdot M_M}{h^2 \cdot D} - \beta_Z \cdot \sigma_{RM} \quad \sigma_{TM} = -23.822 \quad \text{МПа}$$

Расчетные напряжения во фланце в рабочих условиях:

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

$$\sigma_{0p} := \frac{M_p}{\lambda \cdot (S_0 - c_0)^2 \cdot D_{пр}} \quad \sigma_{0p} = 15.372 \quad \text{МПа}$$

Максимальные меридиональные мембранные напряжения во втулке приварного встык фланца

$$\sigma_{0mp} := \max \left[\frac{Q_d + F + \frac{4M}{D_{сн}}}{\pi(D + S_0) \cdot (S_0 - c_0)}, \frac{Q_d + F - \frac{4M}{D_{сн}}}{\pi(D + S_0) \cdot (S_0 - c_0)} \right] \quad \sigma_{0mp} = 1.448 \quad \text{МПа}$$

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

Радиальное напряжение

$$\sigma_{Rp} := \frac{1.33 \cdot \beta_F \cdot h + l_0}{\lambda \cdot h^2 \cdot l_0 \cdot D} \cdot M_p \quad \sigma_{Rp} = 80.118 \quad \text{МПа}$$

Окружное напряжение

$$\sigma_{Tp} := \frac{\beta_Y \cdot M_p}{h^2 \cdot D} - \beta_Z \cdot \sigma_{Rp} \quad \sigma_{Tp} = -31.611 \quad \text{МПа}$$

$\sigma_{\text{max}} := 153$ МПа Допускаемое напряжение для материала фланца при температуре испытаний

$\sigma_{20} := 196$ МПа Допускаемое напряжение для материала фланца при рабочей температуре

PR_1 := "Условия статической прочности при затяжке НЕ выполняются"

PR_2 := "Условия статической прочности в рабочих условиях НЕ выполняются"

PR_3 := "Условия статической прочности выполняются"

KT := 1.3 коэффициент, учитывающий стесненность температурных деформаций

Us1_3 :=
$$\begin{cases} \text{PR}_1 & \text{if } \max(|\sigma_{0M} + \sigma_{RM}|, |\sigma_{0M} + \sigma_{TM}|) > KT \cdot \sigma_{20} \\ \text{PR}_2 & \text{if } \max(|\sigma_{0P} - \sigma_{0MP} + \sigma_{TP}|, |\sigma_{0P} - \sigma_{0MP} + \sigma_{RP}|, |\sigma_{0P} + \sigma_{0MP}|) > KT \cdot \sigma_d \\ \text{PR}_3 & \text{otherwise} \end{cases}$$

Us1_3 = "Условия статической прочности выполняются"

Проверка углов поворота фланцев

Угол поворота приварного встык фланца, плоского фланца

$$\Theta := M_P \cdot Y_{\Phi} \cdot \frac{E_{20}}{E} \quad \Theta = 6.239 \times 10^{-4}$$

Допустимый угол поворота плоского фланца $\Theta_d := 0.013$

Us1_P :=
$$\begin{cases} \text{"Условие при испытаниях НЕ выполняется"} & \text{if } \Theta > 1.3 \cdot \Theta_d \\ \text{"Условие в рабочих условиях НЕ выполняется"} & \text{if } \Theta > \Theta_d \\ \text{"Условие поворота плоского фланца выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Us1_P = "Условие поворота плоского фланца выполняется"

2.3.6 Расчет укрепления отверстий

Расчет укрепления отверстий ведется по [13]

Исходные данные:

Внутренний диаметр оболочки $D_{вн} := 800$ мм

Внутреннее давление на цилиндрическую обечайку $P_{вн} := 0.25$ МПа

Расчётная температура $t_{р} := 3000$ мм

Длина неукреплённой части оболочки $t_R := 220$ °C

Расчетная толщина стенки $s_{р} := 1.3$ мм

Исполнительная толщина стенки оболочки $s := 5$ мм

Диаметр отверстия $d1 := 500$ мм

Прибавка расчетной толщины стенки $c := 1$ мм

Коэффициент прочности сварных швов $\phi := 1$

Допускаемое напряжение для стали при 20 °C $\sigma_{20} := 196$

Минимальное значение предела текучести стали при 20 °C $R_{p1.0} := 300$ МПа;

Допускаемое напряжение для материала при расчётной температуре:

Для стали 09Г2С при $t=250$ °C согласно таблице А.3 из [6] :

$\sigma_d := 164$ МПа;

Допускаемое напряжение для стали 09Г2С при нормальных условиях:

$\sigma_{20} := \text{Floor}(\sigma_{20}, 0.5) = 196$ МПа;

Давление при испытании на прочность:

$$P_{\text{исп}} := 1.25 \cdot P_{\text{вн}} \cdot \frac{\sigma_{20}}{\sigma_d} = 0.373 \text{ МПа};$$

Допускаемое напряжение для стали 09Г2С при гидравлических испытаниях

Расчетные внутренние диаметры укрепляемых элементов определяем согласно с [13]

Для штуцера на цилиндрической обечайке

$$D_{p1} := D$$

Расчетные диаметры отверстия :

$$d_{p1} := d1 + 2c$$

$$d_{p1} = 502 \quad \text{мм}$$

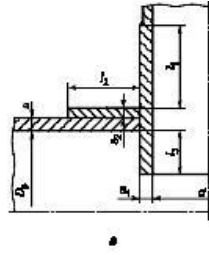


рис. 6

Расчетные длины штуцера:

Расчетная ширина зоны укрепления в обечайках и днищах при отсутствии торообразной вставки или сварного кольца

Ширина зоны укрепления в переходах и днищах вычисляются по формуле

$$l_p := \sqrt{D_{p1} \cdot (s - c)} \quad l_p = 56.569 \quad \text{мм}$$

Расчетная толщина стенки оболочки:

Проверка условий применения формул для расчета укрепления отверстий

$$\text{пров1} := \begin{cases} \text{"Отношение диаметров НЕ выполняется"} & \text{if } \left(\frac{d_{p1} - 2 \cdot c}{D} \geq 1 \right) \\ \text{"Отношение толщины к диаметру НЕ выполняется"} & \text{if } \left(\frac{s - c}{D} \geq 0.1 \right) \\ \text{"Условия применения формул выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\boxed{\text{пров1} = \text{"Условия применения формул выполняются"}}$$

Расчетный диаметр одиночного отверстия, не требующего укрепления:

$$d_o := 2 \cdot \left[\left(\frac{s - c}{s_p} \right) - 0.8 \right] \cdot \sqrt{D_{p1} \cdot (s - c)} \quad d_o = 257.604 \quad \text{мм}$$

Проверка условий необходимости дальнейшего расчета укреплений отверстий:

$$\text{пров3} := \begin{cases} \text{"НЕ требуется укрепление отверстий"} & \text{if } d_o \geq d_{p1} \\ \text{"требуется укрепление отверстий"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\boxed{\text{пров3} = \text{"требуется укрепление отверстий"}}$$

Диаметр укрепляемых элементов

$D_p := D$ для цилиндрической оболочки

Расчетные длины штуцеров:

$$l_1 := 250 \text{ мм}$$

$$d_p := 500 \text{ мм}$$

$$l_{1p} := \min[l_1, \sqrt{(d + 2 \cdot c) \cdot (s - c)}]$$

$$l_{1p} = 44.811 \text{ мм}$$

$$l_{3p} := 0$$

$$l_2 := 100 \text{ мм} \quad \text{ширина кольца}$$

$$s_2 := 5 \text{ мм} \quad \text{толщина кольца}$$

Расчетная ширина накладного кольца

$$l_{2p} := \min[l_2, \sqrt{D_p \cdot (s_2 + s - c)}]$$

$$l_{2p} = 84.853 \text{ мм}$$

Расчетная ширина зоны укрепления в обечайке, при отсутствии торообразной вставки или вварного кольца

$$l_p := \sqrt{D_p \cdot (s - c)} = 56.569 \text{ мм}$$

Отношения допускаемых напряжений, поскольку штуцер, накладное кольцо и обечайка выполнены из одного материала принимаем

$$\chi_1 := 1 \quad \chi_2 := 1 \quad \chi_3 := 1$$

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

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

$$d_0 = 257.604 \text{ мм}$$

$$d_{op} := 0.4 \cdot \left[\sqrt{D_p \cdot (s - c)} \right] = 22.627 \text{ мм}$$

Проверка условия укрепления одиночного отверстия

$$d_p := 512 \text{ мм} \quad \text{наружный диаметр патрубка}$$

$$A_1 := l_{1p} \cdot (s - s_p - c) \cdot \chi_1 = 120.989$$

$$A_2 := l_{2p} \cdot s_2 \cdot \chi_2 = 424.264$$

$$A_3 := 0$$

$$A_{p,c} := l_p \cdot (s - s_p - c) = 152.735$$

$$A_p := 0.5 \cdot (d_p - d_{op}) \cdot s_p = 318.092$$

$$\text{Summ} := A_1 \cdot \chi_1 + A_2 \cdot \chi_2 + A_3 \cdot \chi_3 + A_{p,c} = 697.988$$

$$\text{Prov} := \begin{cases} \text{"условие укрепления отверстия выполняется"} & \text{if Summ} > A_p \\ \text{"условие укрепления отверстия НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{Prov} = \text{"условие укрепления отверстия выполняется"}$$

Расчет укрепления отверстий в эллиптической крышке

Исходные данные:

Внутренний диаметр оболочки $D := 800$ мм

Внутреннее давление на цилиндрическую обечайку $P_{вн} := 0.6$ МПа

Высота эллиптического днища $H := 0.25 \cdot D = 200$

Расчётная температура $t_p := 250$ °C

Исполнительная толщина стенки оболочки $s := 5$ мм

Диаметр отверстия $d1 := 500$ мм

Прибавка расчетной толщины стенки $c := 1$ мм

Коэффициент прочности сварных швов $\phi := 1$

Допускаемое напряжение для $\sigma_{20} := 196$ МПа;
стали при 20 °C

Минимальное значение предела
текучести стали при 20 °C $R_{p1.0} := 300$ МПа;

текуести стали при 20 °C

Допускаемое напряжение для материала при расчётной температуре:

Для стали 09Г2С при $t=250$ °C согласно таблице А.3 из [6] :

$\sigma_d := 162$ МПа;

Допускаемое напряжение для стали 09Г2С при нормальных условиях:

$\sigma_{20} := \text{Floor}(\sigma_{20,0.5}) = 196$ МПа;

Давление при испытании на прочность:

$P_{испр} := 1.25 \cdot P_{вн} \cdot \frac{\sigma_{20}}{\sigma_d} = 0.907$ МПа;

Допускаемое напряжение для стали 09Г2С при гидравлических испытаниях

Расчетные внутренние диаметры укрепляемых элементов определяем согласно с [13]

Для штуцера на эллиптической крышке

$x := 200$ мм Расстояние от оси укрепляемого отверстия до оси крышки

$$D_{p1} := \frac{D^2}{2 \cdot H} \sqrt{1 - 4 \cdot \frac{D^2 - 4 \cdot H^2}{D^4} \cdot x^2} = 1.442 \times 10^3 \quad \text{мм}$$

Расчетные диаметры отверстия :

$$d_{p1} := \frac{d + 2c}{\sqrt{1 - \left(\frac{2 \cdot x}{D_{p1}}\right)^2}} = 522.498 \quad \text{мм}$$

$$d_p = 522.498 \quad \text{мм}$$

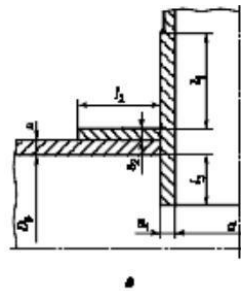


рис.7

Расчетные длины штуцера:

Расчетная ширина зоны укрепления в обечайках и днищах при отсутствии торообразной вставки или сварного кольца

Ширина зоны укрепления в переходах и днищах вычисляются по формуле

$$l_p := \sqrt{D_{p1} \cdot (s - c)} \quad l_p = 75.953 \quad \text{мм}$$

Расчетная толщина стенки оболочки:

Проверка условий применения формул для расчета укрепления отверстий

$$\text{пров1} := \begin{cases} \text{"Отношение диаметров НЕ выполняется"} & \text{if } \left(\frac{d_{p1} - 2 \cdot c}{D}\right) \geq 1 \\ \text{"Отношение толщины к диаметру НЕ выполняется"} & \text{if } \left(\frac{s - c}{D}\right) \geq 0.1 \\ \text{"Условия применения формул выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{пров1} = \text{"Условия применения формул выполняются"}$$

Расчетный диаметр одиночного отверстия не требующего укрепления:

$$d_o := 2 \cdot \left[\left(\frac{s - c}{s_p} \right) - 0.8 \right] \cdot \sqrt{D_{p1} \cdot (s - c)} \quad d_o = 257.604 \quad \text{мм}$$

Проверка условий необходимости дальнейшего расчета укреплений отверстий:

$$\text{пров3} := \begin{cases} \text{"НЕ требуется укрепление отверстий"} & \text{if } d_o \geq d_{p1} \\ \text{"требуется укрепление отверстий"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{пров3} = \text{"требуется укрепление отверстий"}$$

$$l_1 := 250 \text{ мм}$$

$$l_3 := 200 \text{ мм}$$

Расчетные длины штуцеров:

$$l_{1p} := \min[l_1, \sqrt{(d + 2 \cdot c) \cdot (s - c)}]$$

$$l_{1p} = 44.811 \text{ мм}$$

$$l_{2p} := \min[l_3, 0.5 \sqrt{(d + 2 \cdot c) \cdot (s - c)}] = 22.405$$

Расчетная ширина накладного кольца

$$l_2 := 50 \text{ мм} \quad \text{исполнительная ширина накладного кольца}$$

$$s_2 := 5 \text{ мм} \quad \text{Толщина накладного кольца}$$

$$l_{2p} := \min[l_2, \sqrt{D_p \cdot (s_2 + s - c)}]$$

$$l_{2p} = 50 \text{ мм}$$

Расчетная ширина зоны укрепления в обечайке, при отсутствии торообразной вставки или вварного кольца

$$l_{p.с} := \sqrt{D_p \cdot (s - c)} = 75.953 \text{ мм}$$

Отношения допускаемых напряжений, поскольку штуцер, накладное кольцо и обечайка выполнены из одного материала принимаем

$$\chi_1 := 1 \quad \chi_2 := 1 \quad \chi_3 := 1$$

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

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

$$d_0 = 345.879 \text{ мм}$$

$$d_{op} := 0.4 \cdot \left[\sqrt{D_p \cdot (s - c)} \right] = 30.381 \text{ мм}$$

Проверка условия укрепления одиночного отверстия

$$A_1 := l_{1p} \cdot (s - s_p - c) \cdot \chi_1 = 120.989$$

$$A_2 := l_{2p} \cdot s_2 \cdot \chi_2 = 250$$

$$A_{2.c} := 0$$

$$A_{p.c} := l_p \cdot (s - s_p - c) = 205.074$$

$$A_p := 0.5 \cdot (d_p - d_{op}) \cdot s_p = 319.876 \quad \text{Summ} := A_1 \cdot \chi_1 + A_2 \cdot \chi_2 + A_{p.c} = 576.062$$

$$\text{Prov} := \begin{cases} \text{"условие укрепления отверстия выполняется"} & \text{if Summ} > A_p \\ \text{"условие укрепления отверстия НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Prov = "условие укрепления отверстия выполняется"

2.3.7 Расчет теплообменника на прочность

2.3.7.1 Исходные данные

Расчет ведем по [14]

$a := 250$	мм	Внутренний радиус кожуха
$a_1 := 224$	мм	Расстояние от оси кожуха до оси наиболее удаленной трубы
$i := 90$		Число труб
$d_T := 20$	мм	Диаметр трубы
$s_T := 2$	мм	Толщина стенки трубы
$s_K := 5$	мм	Толщина стенки кожуха
$l := 4000$	мм	Длина труб
$d_0 := 20.7$	мм	Диаметр отверстия в решетке
$t_p := 26$	мм	Шаг отверстия
$s_{фр} := 30$	мм	Толщина трубной решетки
$E_c := 1.98 \cdot 10^5$	МПа	Модуль продольной упругости материала корпуса
$E_T := 1.95 \cdot 10^5$	МПа	Модуль продольной упругости материала труб
$E_p := 1.97 \cdot 10^5$	МПа	Модуль упругости для материала трубной решетки
$K_q := 1$	$\psi_0 := 0.37$	Коэффициент жесткости перфорированной плиты (по таблице Б.1)
$K_p := 1$		Коэффициенты изменения жесткости системы трубы-кожух
$h_1 := 24$	мм	Толщина тарелки фланца кожуха
$h_2 := h_1$		Толщина тарелки фланца камеры
$s_2 := 5$	мм	Толщина стенки камеры в месте соединения с фланцем
$t_k := 290$		Рабочая температура в распределительной камере
$t_w := 226$		Рабочая температура в кожухе аппарата
$t_0 := 20$		Температура гидравлических испытаний
$R_1 := \frac{670}{2}$	мм	Радиус фланца, на котором крепится трубная решетка
$R_2 := R_1$		
$B_1 := 500$	мм	Диаметр трубной решетки
$B_2 := 510$	мм	Диаметр прокладки под трубную решетку
$p_T := 0.6$	МПа	Рабочее давление в распределительной камере аппарата
$p_M := 0.25$	МПа	Рабочее давление в кожухе аппарата

$\alpha_k := 15.3 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ Коэффициент линейного расширения для стали 09Г2С

2.3.7.2 Вспомогательные величины

$$\eta_M := 1 - \frac{i \cdot d_T^2}{4 \cdot a_1^2} = 0.821 \quad \alpha_{\text{кв}} := \alpha_k$$

Относительная характеристика беструбного края трубной решетки:

$$m_n := \frac{a}{a_1} \quad m_n = 1.116$$

Коэффициенты влияния давления на трубную решетку вычисляются по формуле:

-со стороны межтрубного пространства

-со стороны трубного пространства

$$\eta_T := 1 - \frac{[i \cdot (d_T - 2s_T)]^2}{4a_1^2} = 0.885$$

Основные характеристики жесткости элементов теплообменного аппарата

Модуль упругости основания (системы труб) вычисляются по формуле

$$K_y := \frac{E_T \cdot (\eta_T - \eta_M)}{l} = 3.148$$

Приведенное отношение жесткости труб к жесткости кожуха вычисляют по формуле:

$$\rho := \frac{K_y \cdot a_1 \cdot l}{E_K \cdot s_K} = 2.849$$

Коэффициент системы решетка - трубы вычисляют по формуле

$$\beta := \frac{1.82}{s_p} \cdot \frac{\sqrt[4]{K_y \cdot s_p}}{\sqrt{\psi_0 \cdot E_p}} = 0.012$$

$$\omega := \beta \cdot a_1 = 2.578$$

Коэффициент ослабления решетки

$$d_E := d_0 - s_1$$

$$\psi_E := 1 - \frac{d_E}{t_p} = 0.281$$

$$\beta_1 := \frac{1.3}{\sqrt{a \cdot s_1}} = 0.037$$

$$\beta_2 := \frac{1.3}{\sqrt{a \cdot s_2}} = 0.037$$

$$K_1 := \frac{\beta_1 \cdot a \cdot E_K \cdot s_1^3}{5.5 \cdot R_1} = 1.235 \times 10^5$$

$$K_2 := \frac{\beta_2 \cdot a \cdot E_D \cdot s_2^3}{5.5 \cdot R_2} = 1.235 \times 10^5$$

$$K_{\Phi 1} := \frac{E_1 \cdot h_1^3 \cdot B_1}{12 \cdot R_1^2} + K_1 \cdot \left(1 + \frac{\beta_1 \cdot h_1}{2}\right) = 1.194 \times 10^6$$

$$K_{\phi 2} := \frac{E_2 \cdot h_2^2 \cdot B_2}{12 \cdot R_2^2} + K_2 \cdot \left(1 + \frac{\beta_2 \cdot h_2}{2} \right) = 2.212 \times 10^5$$

$D_{\text{пл}}$:= 540 Диаметр прокладки, мм

p_p := 0.7 Максимальное давление, действующее на решетку, МПа

σ_p := 153 Допускаемое напряжение для материала решетки при рабочей температуре, МПа

c := 2 Общая прибавка к толщине стенки, мм

Определение усилий в элементах теплообменного аппарата

$$m_{cp} := 0.15 \cdot \frac{i \cdot (d_T - s_T)^2}{a_1^2} = 0.087$$

$$\rho_1 := \frac{K_y \cdot a \cdot a_1}{\beta^2 \cdot K_{\phi} \cdot R_1} = 2.806$$

$$p_{11} := [\alpha_k \cdot (t_k - t_0) - \alpha_T \cdot (t_T - t_0)] \cdot K_y \cdot 1$$

$$p_{22} := [\eta_T - 1 + m_{cp} + m_n \cdot (m_n + 0.5 \cdot \rho \cdot K_q)] \cdot p_T$$

$$p_{33} := [\eta_M - 1 + m_{cp} + m_n \cdot (m_n + 0.3 \cdot \rho \cdot K_p)] \cdot p_M$$

$$p_0 := p_{11} + p_{22} - p_{33} = 13.488$$

Коэффициенты, учитывающие влияние беструбного края и поддерживающие влияние труб

$$\Phi_1 := 2.28$$

$$\Phi_2 := 0.62$$

$$\Phi_3 := 1.65$$

$$t := 1 + 1.4 \cdot \omega \cdot (m_n - 1) = 1.419$$

$$T_{\text{пл}} := \Phi_1 \cdot [m_n + 0.5 \cdot (1 + m_n \cdot t) \cdot (t - 1)] = 3.779$$

$$T_2 := \Phi_2 \cdot t \quad m_1 := \frac{1 + \beta_1 \cdot h_1}{2\beta_1^2} \quad m_2 := \frac{1 + \beta_2 \cdot h_2}{2\beta_2^2}$$

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

$$p_1 := \frac{K_y}{\beta \cdot K_{\phi}} \cdot (m_1 \cdot p_M - m_2 \cdot p_T) = -0.047$$

Изгибающий момент и перерезывающую силу, распределенные по трубам рассчитываем по формулам:

Изгибающий момент

$$M_n := \left(\frac{a_1}{\beta} \right) \cdot \frac{p_1 \cdot (T_1 + \rho \cdot K_q) - p_0 \cdot T_2}{(T_1 + \rho \cdot K_q) \cdot (T_3 + \rho_1) - T_2^2} = -7.892 \times 10^3$$

Перерезывающая сила

$$Q_n := a_1 \cdot \frac{p_0 \cdot (T_3 + \rho_1) - p_1 \cdot T_2}{(T_1 + \rho \cdot K_q) \cdot (T_3 + \rho_1) - T_2^2} = 467.91$$

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

$$M_a := M_n + (a - a_1) \cdot Q_n = 4.274 \times 10^3$$

Перерезывающая сила

$$Q_a := m_n \cdot Q_n = 522.221$$

Осевая сила и изгибающий момент, действующие на трубу, вычисляются по формулам

$$N_T := \frac{\pi \cdot a_1}{i} \cdot [(\eta_M \cdot p_M - \eta_T \cdot p_T) \cdot a_1 + \Phi_1 \cdot Q_a + \Phi_2 \cdot M_a \cdot \beta] = 8.977 \times 10^3$$

$$I_{1R} := 1000$$

$$I_{np} := \frac{I_{1R}}{3} = 333.333$$

$$J_T := \frac{\pi \cdot (0.025^4 - 0.021^4)}{64} = 9.628 \times 10^{-9}$$

$$M_T := \frac{E_T \cdot J_T \cdot \beta}{K_y \cdot a_1 \cdot I_{np}} \cdot (\Phi_2 \cdot Q_a + \Phi_3 \cdot M_a \cdot \beta) = 3.723 \times 10^{-8}$$

Усилия в коже вычисляются по формулам

Усилие, распределенное по периметру кожура

$$Q_k := \frac{a}{2} \cdot p_T - Q_n = -392.91$$

Изгибающий момент, распределенный по периметру кожура

$$M_k := \frac{K_1}{\rho \cdot K_\Phi \cdot \beta} \cdot (T_2 \cdot Q_n + T_3 \cdot \beta \cdot M_n) - \frac{p_M}{2 \cdot \beta_1^2} = 557.702$$

Суммарная осевая сила, действующая на кожух

$D := 500$ мм диаметр распределительной камеры

$s_{1p} := 30$ мм Принятая толщина решетки

$\phi_{сш} := 1$ Коэффициент прочности сварных швов

$$F := \pi \cdot D \cdot Q_K = -6.172 \times 10^5 \text{ МН}$$

Расчетные напряжения в трубных решетках

$$\sigma_{p1} := \frac{6 |M_n|}{(s_{1p} - c)^2} = 60.396 \text{ МН} \quad \text{изгибные}$$

$$\tau_{p1} := \frac{|Q_n|}{(s_{1p} - c)} = 16.711 \text{ МН} \quad \text{касательные}$$

Напряжения в перфорированной части решетки вычисляются по формулам

Определение необходимых коэффициентов:

$$A := 0.402$$

$$M_{\max} := A \cdot \frac{|Q_a|}{\beta} \quad m_a := \frac{\beta \cdot M_a}{Q_a} = 0.094$$

$$\sigma_{p2} := \frac{6 |M_{\max}|}{[\phi_p \cdot (s_p - c)^2]} = 139.587 \text{ МН}$$

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

Напряжения в кожухе в месте присоединения к решетке вычисляются по формулам:

В меридиональном направлении:

Мембранные

$$\sigma_{Mx} := \frac{|Q_k|}{(s_1 - c)} = 130.97 \text{ МН}$$

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

В окружном направлении

Мембранные

$$\sigma_{M\phi} := \frac{|P_M| \cdot a}{(s_1 - c)} = 20.833 \text{ МН}$$

Изгибные

$$\sigma_{\text{изг}} := 0.3 \cdot \sigma_{\text{ук}} = 111.54$$

Напряжения в трубах вычисляют по формулам:

Мембранные:

$$\sigma_{1T} := \frac{|N_T|}{\pi \cdot (d_T - s_T) \cdot s_T} = 79.378 \quad \text{МН}$$

суммарные

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

в окружном направлении

$$\sigma_{2T} := \frac{(d_T - s_T) \cdot \max(p_T \cdot p_M \cdot p_T - p_M)}{2 \cdot s_T} = 2.7$$

2.3.7.3 Расчет толщины трубной решетки

Расчет толщины трубной решетки для теплообменных аппаратов с U-образными трубами

$$s_{pp} := \frac{D_{\text{сп}}}{3.4} \cdot \sqrt{\frac{p_p}{\psi_E \cdot \sigma_p}} = 20.274 \quad \text{мм}$$

В случае, если к жесткости трубных решеток аппаратов с U-образными трубами предъявляют специальные требования (недопустим остаточный прогиб решетки), расчетную толщину вычисляют по формуле

$$s_{pp} := 0.82 \cdot a_1 \cdot \sqrt{\frac{p_p}{(\psi_E \cdot \sigma_p)}} \cdot \max \left[1, \sqrt{\frac{2 \cdot a_1 + 1.5 \cdot \frac{D_{\text{сп}}}{a_1} \cdot (D_{\text{сп}} - 2a_1)}{D_{\text{сп}} - 2a_1 \cdot (1 - \psi_E)} \cdot \psi_E + \frac{p_p}{(\psi_E \cdot \sigma_p)}}} \right] = 23.712 \quad \text{мм}$$

$$s_{pp} + c = 25.712 \quad \text{мм}$$

Принимаем толщину трубной решетки равной

$$s_{pp} := 30 \quad \text{мм}$$

2.3.7.4 Проверка прочности трубной решетки

Проверка статической прочности проводят по формуле

$$\max(\tau_{p1}, \tau_{p2}) = 18.651$$
$$\text{Prov} := \begin{cases} \text{"Условие статической прочности выполняется"} & \text{if } \max(\tau_{p1}, \tau_{p2}) \leq 0.8 \cdot \sigma_p \\ \text{"Условие статической прочности НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Prov = "Условие статической прочности выполняется"

2.3.7.5 Проверка прочности и устойчивости кожуха

$\sigma_{\text{жк}} := 152$ МПа Допускаемое напряжение стали 09Г2С при рабочей температуре

$\text{Prov} := \begin{cases} \text{"Условие прочности кожуха в месте присоединения к решетке выполняется"} & \text{if } \sigma_{\text{Мж}} < 1.3 \cdot \sigma_{\text{жк}} \\ \text{"Условие статической прочности кожуха НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$

$\text{Prov} = \text{"Условие прочности кожуха в месте присоединения к решетке выполняется"}$

2.3.7.6 Расчет трубы на прочность, устойчивость и жесткость.

$\sigma_{\text{жт}} := 162$ МПа Допускаемое напряжение стали 09Г2С при рабочей температуре

$\text{Prov} := \begin{cases} \text{"Условие статической прочности труб выполняется"} & \text{if } \max(\sigma_{1\text{T}}, \sigma_{2\text{T}}) < \sigma_{\text{жт}} \\ \text{"Условие статической прочности труб НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$

$\text{Prov} = \text{"Условие статической прочности труб выполняется"}$

2.3.7.7 Перегородки между ходами по трубному пространству кожухотрубчатых Т/О

$B_{\text{пер}} := 500$ мм Ширина перегородки

$L_{\text{пер}} := 600$ мм Длина перегородки

$\Delta p := 0.2 \cdot 0.7 = 0.14$ МПа Перепад давлений в трубном пространстве

$\sigma_{\text{п}} := 153$ МПа Допускаемое напряжение для материала перегородки при рабочей температуре

$$f_{\text{п}} := \frac{1}{1 + \frac{B_{\text{пер}}}{L_{\text{пер}}} + \left(\frac{B_{\text{пер}}}{L_{\text{пер}}}\right)^2} = 0.396$$

$$S_{\text{пер}} := 0.71 \cdot B_{\text{пер}} \cdot \sqrt{\frac{\Delta p \cdot f_{\text{п}}}{\sigma_{\text{п}}}} + 2 \cdot c = 8.754 \text{ мм}$$

$c := 1$ мм

Принимаем толщину перегородки равной 10 мм

$S_{\text{пер}} := 10$ мм

2.3.8 Расчет аппарата от воздействия опорных нагрузок

2.3.8.1 Расчет веса аппарата

Исходные данные:

$H_{об} := 5$	м	Длина обечайки
$H_{тр} := 4$	м	Длина труб:
$H_{об2} := 0.5$	м	Длина распределительной камеры:
$D_B := 0.8$	м	Внутренний диаметр корпуса:
$D := 0.5$	м	Внутренний диаметр распределительной камеры:
$s := 0.005$	м	Толщина стенки корпуса
$s := 0.005$	м	Толщина стенки распределительной камеры:
$d_{тр} := 0.02$	м	Диаметр труб:
$s_{тр} := 0.002$	м	Толщина стенки труб:
$E_{ст} := 1.8 \cdot 10^5$		Модуль упругости для стали при рабочей температуре
$\sigma_{ст} := 152$	МПа	Допускаемое напряжение стали при рабочей температуре
$\sigma_{ст20} := 196$	МПа	Допускаемое напряжение стали при температуре гидравлических испытаний
$P := 0.25$	МПа	Давление в межтрубном пространстве
$\rho_{мет} := 7800$	$\frac{кг}{м^3}$	Плотность стали

Определим вес обечайки:

$$G_{об} := \pi \cdot (D_B + s) \cdot s \cdot H_{об} \cdot \rho_{мет} \cdot g = 4.833 \times 10^3 \quad \text{Н}$$

Определим вес обечайки распределительной камеры:

$$G_{РК} := \pi \cdot (D + s) \cdot s \cdot H_{об2} \cdot \rho_{мет} \cdot g = 303.181 \quad \text{Н}$$

Площадь днища корпуса:

$$R_{ДН} := \frac{D_B}{2} = 0.4 \quad \text{м}$$

$$S_{ДН} := \pi \cdot R_{ДН}^2 = 0.503 \quad \text{м}^2$$

Вес днища

$$G_{Д} := S_{ДН} \cdot s \cdot \rho_{мет} \cdot g = 192.115 \quad \text{Н}$$

Площадь крышки распределительной камеры:

$$R_{КР} := \frac{D}{2} = 0.25 \quad \text{м}$$

$$S_{\text{КР}} := \pi \cdot R_{\text{КР}}^2 = 0.196 \quad \text{м}^2$$

Вес крышки:

$$G_{\text{КР}} := S_{\text{КР}} \cdot \rho_{\text{мет}} \cdot g = 75.045 \quad \text{Н}$$

Вес трубы в трубном пространстве

$$G_{\text{ТР}} := \pi \cdot (d_{\text{н}} + s_{\text{тр}}) \cdot s_{\text{тр}} \cdot 2H_{\text{ТР}} \cdot \rho_{\text{мет}} \cdot g = 84.53 \quad \text{Н}$$

Вес трубного пучка:

$$G_{\text{Т}} := G_{\text{ТР}} \cdot 104 = 8.791 \times 10^3 \quad \text{Н} \quad \text{где 104-число труб}$$

Тогда вес пустого аппарата:

$$G_{\text{АПШ}} := \frac{G_{\text{Т}} + G_{\text{КР}} + 2G_{\text{Д}} + G_{\text{РК}} + G_{\text{об}}}{10^3} = 14.387 \quad \text{кН}$$

Определим вес аппарата при испытаниях:

Объёмы днищ внутренним диаметром 500 и 800 мм соответственно, согласно

$$V_{\text{Д1}} := 21.2 \cdot 10^{-3} \quad \text{м}^3 \quad V_{\text{Д2}} := 86.8 \cdot 10^{-3} \quad \text{м}^3$$

Масса воды при испытаниях

$$m_{\text{ВОД}} := \pi \cdot \frac{D_{\text{В}}^2}{4} \cdot H_{\text{об}} \cdot \rho_{\text{В}} + \rho_{\text{В}} \cdot (V_{\text{Д1}} + 2V_{\text{Д2}}) + \pi \cdot \frac{D^2}{4} \cdot H_{\text{об2}} \cdot \rho_{\text{В}} = 2.806 \times 10^3 \quad \text{кг}$$

Вес воды:

$$G_{\text{ВОД}} := m_{\text{ВОД}} \cdot g = 2.75 \times 10^4 \quad \text{Н}$$

Вес аппарата, заполненного жидкостью в условиях испытаний:

$$G_{\text{АПРЗ}} := G_{\text{АПШ}} + G_{\text{ВОД}} = 2.752 \times 10^4 \quad \text{Н}$$

2.3.8.2 Подбор и расчёт опоры

Сосуды работающие под внутренним избыточным давлением

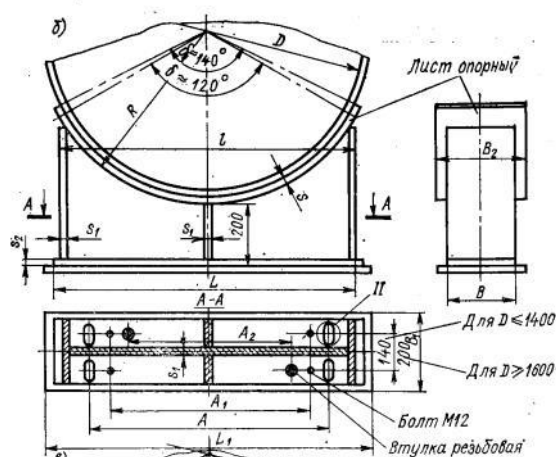


Рис.8 Изображение опоры

Исходные данные:

Аппарат изготовлен из стали 9Г2С $\rho := 7850$ плотность стали, кг/м³

$H := 200$ высота выпуклой части днища по внутренней поверхности без учета цилиндрической отбортовки, мм;

$L := 4500$ длина цилиндрической части сосуда, включая длину цилиндрической отбортовки днища, мм;

$D := 800$ внутренний диаметр цилиндрической обечайки или выпуклого днища, мм;

$p_{rab} := 0.7$ внутреннее избыточное или наружное давление, МПа

$\phi := 1$ коэффициент прочности сварных швов обечайки, расположенных в области опорного узла;

$E := 1.91 \cdot 10^5$ модуль продольной упругости при расчетной температуре, МПа

$b := 360$ ширина седловой опоры, мм;

$s_2 := 12$ исполнительная толщина подкладного листа, мм;

$b_2 := 450$ ширина подкладного листа, мм;

$\sigma_t := 160$ допускаемое напряжение при расчетной температуре, МПа;

$\sigma_{TW} := 240$ предел текучести при расчетной температуре, МПа;

$G := 2.316 \cdot 10^4$ н Вес аппарата

$\sigma_{20} := 180$ допускаемое напряжение при температуре 20 °С, МПа;

$a := 600$ длина выступающей цилиндрической части сосуда, включая отбортовку днища, мм;

$e := a + H$ длина свободно выступающей части эквивалентного сосуда, мм;

$t_{rab} := 250$ рабочая температура в аппарате, °С;

$c := 1$ сумма прибавок к расчетной толщине стенки, мм;

$\delta_1 := 120 \cdot \text{deg}$ угол охвата седловой опоры, °;

$\delta_2 := 140 \cdot \text{deg}$ угол охвата сосуда подкладным листом, °.

В качестве основной расчётной схемы принимаем цилиндрический сосуд постоянного сечения симметрично опёртый на две опоры

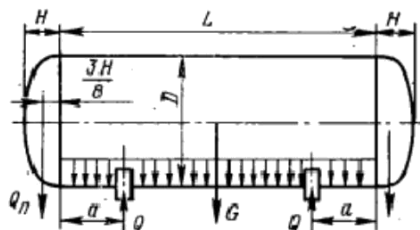


Рис.9 Схема нагрузок на опоры

Расчётные данные:

Расчётная температура

$$t := \begin{cases} \max(t_{\text{rab}}, 20) & \text{if } o = 1 \\ 20 & \text{if } o = 2 \end{cases}$$

$$t = 250 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Допускаемое напряжение при расчетной температуре:

Принимаем по [6] при расчётной температуре $t=100^\circ\text{C}$

$$\sigma_d := \begin{cases} \text{Floor}(\sigma_t \cdot \phi, 0.5) & \text{if } o = 1 \\ \text{Floor}\left(\frac{\sigma_T}{1.1}, 0.5\right) & \text{if } o = 2 \end{cases}$$

$$\sigma_d = 160 \text{ МПа}$$

Расчётное давление:

$$p := \begin{cases} p_{\text{rab}} & \text{if } o = 1 \\ 1.25 \cdot p_{\text{rab}} \cdot \frac{\sigma_{20}}{\sigma_t} & \text{if } o = 2 \end{cases}$$

$$p = 0.7 \text{ МПа}$$

Исполнительная толщина стенки:

$$s_r := \frac{p \cdot D}{2 \cdot \phi \cdot \sigma_d - p}$$

$$s := \text{floor}(s_r + c + 1) \quad s = 3$$

Принимаем толщину стенки равной 5 мм

$$s := 5 \text{ мм}$$

Допускаемое наружное давление

$$n_y := \begin{cases} 2.4 & \text{if } o = 1 \\ 1.8 & \text{if } o = 2 \end{cases} \quad n_y = 2.4$$

$$p_d := \begin{cases} p_{dp} \leftarrow \frac{2 \cdot \sigma_d \cdot (s - c)}{D + (s - c)} \\ B_1 \leftarrow \min \left[1.0, 9.45 \cdot \frac{D}{L} \cdot \sqrt{\frac{D}{100 \cdot (s - c)}} \right] \\ p_{dE} \leftarrow \frac{2.08 \cdot 10^{-5} \cdot E}{n_y \cdot B_1} \cdot \frac{D}{L} \cdot \left[\frac{100 \cdot (s - c)}{D} \right]^{-2.5} \\ p_d \leftarrow \frac{p_{dp}}{\sqrt{1 + \left(\frac{p_{dp}}{p_{dE}} \right)^2}} \end{cases}$$

$$p_d = 0.052 \quad \text{МПа}$$

Нагрузки на корпус аппарата:

Расчет ведем по [18]

$$q := \frac{G}{L + \frac{4 \cdot H}{3}} \quad q = 4.859 \quad \frac{\text{Н}}{\text{мм}}$$

$$M_0 := q \cdot \frac{D^2}{16} \quad M_0 = 1.943 \times 10^5 \quad \text{Н} \cdot \text{мм}$$

Опорное усилие:

$$F_1 := \frac{G}{2}$$

$$F_1 = 1.158 \times 10^4 \quad \text{Н}$$

Момент над опорой:

$$M_1 := \frac{q \cdot e^2}{2} - M_0$$

$$M_1 = 1.36 \times 10^6 \quad \text{Н·мм}$$

Максимальный момент между опорами:

$$M_{12} := M_0 + F_1 \cdot \left(\frac{L}{2} - a \right) - \frac{q}{2} \cdot \left(\frac{L}{2} + \frac{2}{3} \cdot H \right)^2$$

$$M_{12} = 5.502 \times 10^6 \quad \text{Н·мм}$$

Поперечное усилие в сечении оболочки над опорой:

$$Q_1 := \frac{L - 2 \cdot a}{L + \frac{4}{3} \cdot H} \cdot F_1 \quad Q_1 = 8.017 \times 10^3 \quad \text{Н}$$

Проверка несущей способности обечайки в сечении между опорами

Допускаемый изгибающий момент:

$$M_d := \begin{cases} M_p \leftarrow \frac{\pi}{4} \cdot D \cdot (D + s - c) \cdot (s - c) \cdot \sigma_d \\ M_E \leftarrow \frac{8.9 \cdot 10^{-5} \cdot E}{n_y} \cdot D^3 \cdot \left[\frac{100 \cdot (s - c)}{D} \right]^{2.5} \\ M_d \leftarrow \frac{M_p}{\sqrt{1 + \left(\frac{M_p}{M_E} \right)^2}} \end{cases}$$

$$M_d = 2.887 \times 10^8 \quad \text{Н·мм}$$

Дополнительные вычисления:

K9 - коэффициент, учитывающий частичное заполнение жидкостью

$$x := \frac{L}{D} \quad y := \frac{D}{(s - c)}$$

$$W1 := -0.20924 \cdot (x - 1) + 0.028702 \cdot x \cdot (x - 1) + 0.4795 \cdot 10^{-3} \cdot y \cdot (x - 1)$$

$$W2 := -\left[0.2391 \cdot 10^{-6} \cdot x \cdot y \cdot (x - 1) + 0.29936 \cdot 10^{-2} \cdot (x - 1) \cdot x^2 + 0.85692 \cdot 10^{-6} \cdot (x - 1) \cdot y^2 \right]$$

$$W3 := 0.88174 \cdot 10^{-6} \cdot x^2 \cdot (x - 1) \cdot y - 0.75955 \cdot 10^{-8} \cdot y^2 \cdot (x - 1) \cdot x$$

$$W4 := 0.82748 \cdot 10^{-4} \cdot (x - 1) \cdot x^3 + 0.48168 \cdot 10^{-9} \cdot (x - 1) \cdot y^3$$

$$K_9 := \max(1.6 + W1 + W2 + W3 + W4, 1)$$

$$K_9 = 1.328$$

Проверка условия прочности:

$$\text{Проверка1} := \begin{cases} \text{"Условие прочности выполняется."} & \text{if } \frac{\pi \cdot D}{4 \cdot (s - c)} + \frac{4 \cdot M_{12} \cdot K_9}{\pi \cdot D^2 \cdot (s - c)} \leq \sigma_d \cdot \phi \\ \text{"Условие прочности НЕ выполняется. Увеличить толщину стенки"} & \text{otherwise} \\ \text{"Проверка не выполняется"} & \text{if } z = 2 \end{cases}$$

$$\text{Проверка1} = \text{"Условие прочности НЕ выполняется. Увеличить толщину стенки"}$$

Примем: $s_{min} = 6$ мм

$$\text{Проверка1} := \begin{cases} \text{"Условие прочности выполняется."} & \text{if } \frac{\pi \cdot D}{4 \cdot (s - c)} + \frac{4 \cdot M_{12} \cdot K_9}{\pi \cdot D^2 \cdot (s - c)} \leq \sigma_d \cdot \phi \\ \text{"Условие прочности НЕ выполняется. Увеличить толщину стенки"} & \text{otherwise} \\ \text{"Проверка не выполняется"} & \text{if } z = 2 \end{cases}$$

$$\text{Проверка1} = \text{"Условие прочности выполняется."}$$

Проверка несущей способности обечайки, неукреплённой кольцами жесткости в области опорного узла

Параметр, определяемый расстоянием до днища:

$$\lambda_w := 2.83 \cdot \frac{a}{D} \cdot \sqrt{\frac{(s - c)}{D}} \quad \gamma = 0.168$$

Параметр, определяемый шириной пояса опоры:

$$\beta_w := 0.91 \cdot \frac{b}{\sqrt{D \cdot (s - c)}} \quad \beta_1 = 5.18$$

Общее меридиональное мембранное напряжение изгиба, действующие в области опорного узла.

$$\sigma_{mx} := \frac{4 \cdot M_1}{\pi \cdot D^2 \cdot (s - c)} \quad \sigma_{mx} = 0.541 \quad \text{МПа}$$

Выберите вид обечайки:

u := Цилиндрическая обечайка без подкладных листов
Цилиндрическая обечайка с подкладными листами

$$w := \begin{cases} s - c & \text{if } u = 1 \\ (s - c) \cdot \sqrt{1 + \left(\frac{s_2}{s - c}\right)^2} & \text{if } u = 2 \end{cases}$$

$$b := \begin{cases} b & \text{if } u = 1 \\ b_2 & \text{if } u = 2 \end{cases}$$

$$\delta := \begin{cases} \delta_1 & \text{if } u = 1 \\ \delta_2 & \text{if } u = 2 \end{cases}$$

$$F_1 \leq \min(F_{d2}, F_{d3})$$

F_{d2} - допускаемое опорное усилие от нагружения в меридиональном направлении.

F_{d3} - допускаемое опорное усилие от нагружения в окружном направлении

Предельные напряжения изгиба σ_{i2}, σ_{i3} :

Коэффициенты для определения $\sigma_{ij} = K_1 \cdot K_2 \cdot \sigma_d$

$$K_1 := \begin{cases} 1.25 & \text{if } o = 1 \\ 1.05 & \text{if } o = 2 \end{cases}$$

$$K_2 = 1.25$$

K_{10} - коэффициент, учитывающий влияние ширины пояса опоры

$$K_{10} := \max\left(\frac{e^{-\beta_1} \cdot \sin(\beta_1)}{\beta_1}, 0.25\right) \quad K_{10} = 0.25$$

K_{12} - коэффициент, учитывающий влияние угла охвата

$$K_{12} := \frac{1.15 - 0.1432 \cdot \delta}{\sin(0.5 \cdot \delta)} \quad K_{12} = 0.982$$

K_{14} - коэффициент, учитывающий влияние угла охвата

$$K_{14} := \frac{1.45 - 0.43 \cdot \delta}{\sin(0.5 \cdot \delta)} \quad K_{14} = 0.634$$

K_{16} - коэффициент, учитывающий влияние расстояния до днища

$$K_{16} := 1 - \frac{0.65}{1 + (6 \cdot \gamma)^2} \cdot \sqrt{\frac{\pi}{3 \cdot \delta}} \quad K_{16} = 0.772$$

K_{17} - коэффициент, учитывающий влияние ширины пояса опоры

$$K_{17} := \frac{1}{1 + 0.6 \cdot \sqrt[3]{\frac{D}{w} \cdot \frac{b}{D} \cdot \delta}}$$

K_{13} - коэффициент, учитывающий влияние угла охвата

$$K_{13} := \frac{\max\left(1.7 - \frac{2.1 \cdot \delta}{\pi}, 0\right)}{\sin(0.5 \cdot \delta)} \quad K_{13} = 0.346$$

K_{15} -коэффициент, учитывающий влияние расстояние до днища

$$K_{15} := \min\left(1, \frac{0.8 \cdot \sqrt{\gamma} + 6 \cdot \gamma}{\delta}\right) \quad K_{15} = 0.637$$

K_{11} -коэффициент, учитывающий влияние ширины пояса опоры

$$K_{11} := \frac{1 - e^{-\beta_1} \cdot \cos(\beta_1)}{\beta_1}$$

$$v_{12} := \frac{-0.23 \cdot K_{13} \cdot K_{15}}{K_{12} \cdot K_{10}}$$

$$v_{13} := \frac{-0.53 \cdot K_{11}}{K_{14} \cdot K_{16} \cdot K_{17} \cdot \sin(0.5 \cdot \delta)}$$

$$v_{212} := -\sigma_{mx} \cdot \frac{1}{K_2 \cdot \sigma_d}$$

$$v_{213} := 0$$

$$v_{222} := \left(\frac{p \cdot D}{4 \cdot w} - \sigma_{mx}\right) \cdot \frac{1}{K_2 \cdot \sigma_d}$$

$$v_{223} := \frac{p \cdot D}{2 \cdot w} \cdot \frac{1}{K_2 \cdot \sigma_d}$$

$$K_{112} := \frac{1 - v_{212}^2}{\left(\frac{1}{3} + v_{12} \cdot v_{212}\right) + \sqrt{\left(\frac{1}{3} + v_{12} \cdot v_{212}\right)^2 + (1 - v_{212}^2) \cdot v_{12}^2}}$$

$$K_{112} = 1.376$$

$$K_{122} := \frac{1 - v_{213}^2}{\left(\frac{1}{3} + v_{13} \cdot v_{213}\right) + \sqrt{\left(\frac{1}{3} + v_{13} \cdot v_{213}\right)^2 + (1 - v_{213}^2) \cdot v_{13}^2}}$$

$$K_{122} = 0.73$$

$$K_{113} := \frac{1 - v_{222}^2}{\left(\frac{1}{3} + v_{12} \cdot v_{222}\right) + \sqrt{\left(\frac{1}{3} + v_{12} \cdot v_{222}\right)^2 + (1 - v_{222}^2) \cdot v_{12}^2}}$$

$$K_{113} = 1.459$$

$$K_{123} := \frac{1 - \nu_{223}^2}{\left(\frac{1}{3} + \nu_{13} \cdot \nu_{223}\right) + \sqrt{\left(\frac{1}{3} + \nu_{13} \cdot \nu_{223}\right)^2 + (1 - \nu_{223}^2) \cdot \nu_{13}^2}}$$

$$K_{123} = 0.919$$

$$K_{1,2} := \min(K_{112}, K_{122}) \quad K_{1,2} = 0.73$$

$$K_{1,3} := \min(K_{113}, K_{123}) \quad K_{1,3} = 0.919$$

$$\sigma_{i2} := K_{1,2} \cdot K_2 \cdot \sigma_d \quad \sigma_{i2} = 145.931 \quad \text{МПа}$$

$$\sigma_{i3} := K_{1,3} \cdot K_2 \cdot \sigma_d \quad \sigma_{i3} = 183.769 \quad \text{МПа}$$

$$F_{d2} := \frac{0.7 \cdot \sigma_{i2} \cdot \sqrt{D \cdot w} \cdot (w)}{K_{10} \cdot K_{12}} \quad F_{d2} = 1.316 \times 10^5 \quad \text{Н}$$

$$F_{d3} := \frac{0.9 \cdot \sigma_{i3} \cdot \sqrt{D \cdot w} \cdot (w)}{K_{14} \cdot K_{16} \cdot K_{17}} \quad F_{d3} = 4.348 \times 10^5 \quad \text{Н}$$

$$F_1 \leq \min(F_{d2}, F_{d3})$$

Проверка условия прочности:

$$\text{Проверка3} := \begin{cases} \text{"Условие прочности выполняется."} & \text{if } F_1 \leq \min(F_{d2}, F_{d3}) \\ \text{"Условие прочности НЕ выполняется."} & \text{otherwise} \\ \text{"Проверка не выполняется!"} & \text{if } z = 2 \end{cases}$$

Проверка3 = "Условие прочности выполняется."

Проверка условия устойчивости:

$$\frac{p_v}{p_d} + \frac{M_1}{M_d} + \frac{F_e}{F_d} + \left(\frac{Q}{Q_d}\right)^2 \leq 1$$

где F_e - эффективное осевое усилие от местных мембранных напряжений, действующих в области опоры.

$$F_e := F_1 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot \sqrt{\frac{D}{w}} \cdot K_{13} \cdot K_{15} \quad F_e = 2.539 \times 10^4 \quad \text{Н}$$

Допускаемое поперечное усилие:

$$Q_d := \begin{cases} Q_{dp} \leftarrow 0.25 \cdot \sigma_d \cdot \pi \cdot D \cdot (w) \\ Q_{de} \leftarrow \frac{2.4 \cdot E \cdot (w)^2}{n_y} \cdot \left[0.18 + 3.3 \cdot \frac{D \cdot (w)}{L^2} \right] \\ Q_d \leftarrow \frac{Q_{dp}}{\sqrt{1 + \left(\frac{Q_{dp}}{Q_{de}} \right)^2}} \end{cases}$$

$$P_v := 0$$

$$Q_1 = 8.017 \times 10^3 \quad \text{Н}$$

$$Q_d = 4.343 \times 10^5 \quad \text{Н}$$

$$M_1 = 1.36 \times 10^6 \quad \text{Н}$$

$$M_d = 2.887 \times 10^8 \quad \text{Н}$$

$$F_d := \min(F_{d2}, F_{d3}) = 1.316 \times 10^5 \quad \text{Н}$$

$$F_e = 2.539 \times 10^4 \quad \text{Н}$$

$$\frac{P_v}{P_d} + \frac{M_1}{M_d} + \frac{F_e}{F_d} + \left(\frac{Q_1}{Q_d} \right)^2 = 0.198$$

условие устойчивости выполняется

2.4 Гидравлический расчет

Ведем расчет согласно с [3]

Трубное пространство.

$d_{\text{вн}} := 0.016 \text{ м}$ Внутренний диаметр труб

$\xi := 7.5$ Коэффициент местного сопротивления для трубного пространства

$Re_{\text{вн}} := 10000$ Критерий Рейнольдса для жидкости в трубном пространстве

$\omega_1 := 0.383$ Скорость жидкости в трубном пространстве

$\rho_{\text{ж}} := 835$ Плотность ТДТ

$V := 3.452 \cdot 10^{-3}$ Объёмный расход ТДТ

Так как в трубах режим движения жидкости - турбулентный, считаем коэффициент по формуле:

$$\lambda_{\text{вн}} := \frac{0.316}{Re^{0.25}} = 0.032 \quad Re > 10000$$

Гидравлическое сопротивление аппарата

$$\Delta P := \left(\frac{\lambda}{d} + \xi \right) \frac{(\omega_1^2 \cdot \rho_1)}{2}$$

$\eta := 0.4$ КПД насоса

$$N_1 := \frac{V \cdot \Delta P}{\eta} = 0.61 \quad \text{кВт}$$

Исходя из мощности выбираем насос из [15]

Центробежный консольный [21] насос для перекачки нефти и нефтепродуктов мощностью 1 кВт, исполнение 1 марки К

Межтрубное пространство.

$$\xi_{\text{м}} := 1.5 + 1.5$$

$$\omega_2 := 0.202 \quad \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$$V := \frac{1.4}{840} = 1.667 \times 10^{-3} \quad \frac{\text{м}^3}{\text{с}}$$

$$\rho_{\text{ж}} := 800 \quad \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

$$d_{\text{вн}} := 0.8 \quad \text{м}$$

$$\lambda_{\text{вн}} := \frac{64}{Re}$$

$$\Delta P := \left(\frac{\lambda}{d} + \xi \right) \frac{(\omega_2^2 \cdot \rho_2)}{2}$$

$$N_2 := \frac{V \cdot \Delta P}{\eta} = 0.081 \quad \text{кВт}$$

Исходя из мощности выбираем насос из [15]

Центробежный консольный [21] насос для перекачки нефти и нефтепродуктов мощностью 1 кВт, исполнение 1 марки К

2.5 Расчет строповых устройств.

Расчет ведем по [16]:

Для монтажа испарителя выбираем 2 витых стропа, состоящий из 2ух ветвей, тогда на один строп нагрузка будет равна

$$P_{\text{стр}} := \frac{2.75 \cdot 10^4}{2} = 1.375 \times 10^4 \quad \text{Н}$$

Расчет витого стропа.

$$m_{\text{стр}} := 2 \quad \text{количество ветвей стропа}$$

$$n_{\text{стр}} := 19 \quad \text{число канатных витков в сечении одной ветви стропа}$$

$$S_1 := \frac{P}{m_{\text{стр}} \cdot n_{\text{стр}} \cdot \cos(30)} = 2.346 \times 10^3$$

$$k_3 := 5 \quad \text{Коэффициент запаса прочности такелажных средств}$$

Разрывное усилие

$$R_k := S_1 \cdot k_3 = 1.173 \times 10^4 \quad \text{Н}$$

Подбираем стальной канат

Маркировочная группа 1960 МПа

Канат типа ЛК-РО конструкции 6х36 (1+7+7/7+14)+1 о.с. [17]

$$d_{\text{кан}} := 13.5 \quad \text{диаметр каната, мм}$$

697 кг масса 1000 м каната

Расчетный диаметр, поперечного сечения витков

$$d_c := 5d_{\text{кан}} = 67.5 \quad \text{мм}$$

Минимальный диаметр захватного устройства

$$k_c := 4$$

$$D_3 := k_c \cdot d_c = 270 \quad \text{мм}$$

Длина каната

$$l_{\text{кан}} := 2000 \quad \text{мм}$$

$$t_{\text{кан}} := 30 \cdot d_{\text{кан}}$$

$$L_{\text{кан}} := 2.2 \cdot l_{\text{кан}} \cdot n + 2t_{\text{кан}} = 8.441 \times 10^4 \quad \text{мм}$$

$$L_{\text{кан}} = 85 \quad \text{М}$$

2.6 Расчет толщины изоляции

Примем температуру окружающего воздуха $t_0 = 20^\circ\text{C}$ и определим суммарный коэффициент теплоотдачи в окружающую среду лучеиспусканием и конвекцией по уравнению [1]:

$$\alpha = 9,74 + 0,07 \cdot \Delta t,$$

где Δt – разность температур поверхности аппарата и окружающего воздуха.

Примем температуру поверхности изоляции $t_{\text{ст}} = 40^\circ\text{C}$ [1].

Тогда:

$$\alpha = 9,74 + 0,07 \cdot (40 - 20) = 11,14 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}.$$

Удельный тепловой поток:

$$q = \alpha(t_{\text{ст}} - t_0) = 11,14 \cdot (250 - 20) = 2622 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}.$$

Принимая приближенно, что все термическое сопротивление сосредоточено в слое изоляции, можно написать:

$$q = K(t_{\text{вн}} - t_0) \approx \frac{\lambda}{\delta}(t_{\text{вн}} - t_0),$$

откуда толщина слоя изоляции:

$$\delta = \frac{\lambda}{q}(t_{\text{вн}} - t_0) = \frac{0,098}{2622}(290 - 20) = 0,01 \text{ м},$$

где $\lambda = 0,098 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$ – коэффициент теплопроводности совелита [1].

Толщину изоляции следует принять равную 10 см.

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

Группа	ФИО
2К32	Меньшов Павел Владимирович

Институт	<i>ИФВТ</i>	Кафедра	ОХХТ
Уровень образования	<i>Бакалавриат</i>	Направление/специальность	<i>МАХП</i>

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения

Объект исследования – технология алкилирования бензола этиленом
Рабочая зона – компьютерный класс, технологическая зона
Область применения - нефтехимия

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Производственная безопасность

1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:
 - 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).

1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:
 - вредные вещества;
 - механические опасности (источники, средства защиты);
 - термические опасности (источники, средства защиты);
 - электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты);
 - пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения).

1.1

- вредные вещества; средства защиты: спецодежда, индивидуальные и групповые средства защиты органов дыхания.
 - производственный шум,
 - вибрация,
 - освещение;
 - микроклиматические условия
 - аэронный состав воздуха;
 В качестве защиты используют различные защитные костюмы, наушники, а также звуко- и виброизоляция. В случае необходимости снижается продолжительность рабочего времени.

1.2.

-механические опасности; средства защиты: ограждения, оградительные устройства.
 - термические источники; средства защиты: теплоизоляция, специальные защитные костюмы.
 - электробезопасность; для защиты необходимо заземление.
 - пожаровзрывобезопасность; для защиты необходимы профилактические мероприятия, наличие средств пожаротушения и запасных выходов.

<p>2.Охрана окружающей среды:</p> <ul style="list-style-type: none"> - анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы); - анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы); - анализ воздействия объекта на литосферу (отходы); - разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды. 	<p><i>Вредное воздействие распространяется преимущественно на атмосферу. Для борьбы с загрязнением воздуха следует применять поглотители углеводородсодержащих газов, отработанные газы подвергать сжиганию.</i></p>
<p>3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</p> <ul style="list-style-type: none"> - перечень возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения; - выбор наиболее типичной ЧС; - разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; - разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий. 	<p><i>- перечень возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения- пожар, взрыв, разрушения зданий в результате разрядов атмосферного электричества, ураган, землетрясения; меры по ликвидации последствий ЧС:</i></p> <ol style="list-style-type: none"> <i>1. использование огнетушителя, песка, асбестового одеяла</i> <i>2. в случае стихийных бедствий отключение воды и электричества</i> <i>3. организационная эвакуация работающих;</i>
<p>4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</p> <ul style="list-style-type: none"> - специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; - организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. 	<p><i>Трудовой кодекс Российской Федерации" от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 31.12.2014)</i></p> <p><i>-организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны: технический перерыв, проветривание, полная изоляция от производственных источников шума и вибрации, специальная диета, посменный режим работы.</i></p>

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	14.03.2017
--	------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент кафедры ЭБЖ	Раденков Тимофей Александрович			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2К32	Меньшов Павел Владимирович		

3. Социальная ответственность

Производственная безопасность

Томский Нефтеперерабатывающий Завод использует большое количество машин и аппаратов, в связи с чем связано увеличение потребления электроэнергии, воды и различных химических веществ.

Таким образом, перед работниками завода стоит задача выполнения всех норм и требований системы безопасности труда, которая включает в себя ряд конкретных требований и мер по видам опасных и вредных производственных факторов.

При выполнении работ возможно возникновение и воздействие на оператора следующих опасных факторов:

Таблица №6. Основные элементы производственного процесса, который формирует опасные и вредные факторы

Рабочее Место	Факторы(Гост 12.0.003-74 Ссбт)		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	
1	2	3	4
1.Операторская	1.Отклонение от показателей микроклимата в помещении	1.Электрический ток	САНПИН 2.2.4.548-96 ПУЭ (6-Е ИЗД.)
	2.Недостаточная освещенность рабочей зоны		САНПИН 2.2.1/2.1.1.1278-03
	3.Превышение уровней шума		ГОСТ 12.1.003-83 С ИЗМ. 1999 Г.
2.Открытая площадка	1.Утечки токсичных и вредных веществ в атмосферу	1.Давление(разрушение аппарата под действием внутреннего избыточного давления)	ГОСТ 12.1.005-88
		2.Статическое	ГОСТ 12.4.124-83

		электричество	
--	--	---------------	--

Анализ вредных производственных факторов и обоснование мероприятий по их устранению (полевая санитария)

Отклонение показателей микроклимата в помещении.

Микроклимат производственных помещений – метеорологические условия внутренней среды помещений, которые определяются действующими на организм человека сочетаниями температуры, влажности, скорости движения воздуха и теплового излучения; комплекс физических факторов, оказывающих влияние на теплообмен человека с окружающей средой, на тепловое состояние человека и определяющих самочувствие, работоспособность, здоровье и производительность труда. Показатели микроклимата: температура воздуха и его относительная влажность, скорость его движения. Оптимальны такие параметры микроклимата, которые при длительном и систематическом воздействии на человека обеспечивают сохранение нормального функционального и теплового состояния организма без напряжения реакций терморегуляции, что создает ощущение теплового комфорта и служит предпосылкой для высокой работоспособности. В таблице 6.2 указаны микроклиматические условия рабочей зоны с учетом избытков тепла, времени года и тяжести выполняемой работы согласно [18]

Таблица №7. Допустимые нормы микроклимата в рабочей зоне производственных помещений

Сезон года	Категория тяжести выполняемых работ	Температура, С°		Относительная влажность, %		Скорость воздуха, м/сек	
		Фактическое значение	Допустимое значение	Фактическое значение	Допустимое значение	Фактическое значение	Допустимое значение
1	2	3	4	5	6	7	8
Холодный	Iб	23	19-24	40	15-75	0.1	0.1-0.2
Теплый		26	20-28	45	15-75	0.2	0.1-0.3

Вывод: Все параметры микроклимата в рабочей зоне соответствуют нормативным значениям

Освещенность.

Рациональное освещение рабочих мест обеспечивает безопасные и здоровые условия труда. Освещение, соответствующее санитарным нормам, является главным условием гигиены труда и культуры производства. При хорошем освещении устраняется напряжение зрения, ускоряется темп работы. При недостаточном освещении глаза сильно напрягаются, темп работы снижается. Недостаточное освещение рабочих мест отрицательно влияет на хрусталик глаза, что может привести к близорукости.

Оценка освещенности рабочей зоны проводится в соответствии с [19]

Таблица №8. Параметры систем естественного и искусственного освещения на рабочих места

Наименование рабочего места	Тип светильника и источника света	Освещенность, лк	
		Фактическое значение	Нормативное значение
1	2	3	4
Операторская	ЛБ20-2 (люминесцентные лампы)	550	>500

Для работы в ночное время на производственной площадке, оснастить работников переносными фонарями.

Вывод: освещенность рабочей зоны соответствует нормативным значениям.

Превышение уровней шума.

Производственный шум различной интенсивности и спектра(частоты), длительно воздействуя на работающих, может привести со временем к понижению остроты слуха у последних, а иногда и к развитию профессиональной глухоты. Помимо местного действия – на орган слуха, шум оказывает и общее действие на организм работающих. Шум является внешним раздражителем, который воспринимается и анализируется корой головного мозга, в результате чего при интенсивном и длительно действующем шуме наступает перенапряжение центральной

нервной системы, распространяющееся не только на специфические слуховые центры, но и на другие отделы головного мозга.

Необходимо следить, чтобы в производственных помещениях уровни шума на рабочих местах не превышали предельно допустимых значений, установленных для данных видов работ в соответствии с действующими санитарно-эпидемиологическими нормативами.

Согласно [20] Устанавливаются допустимые уровни звукового давления и эквивалентного уровня звука. Допустимое и фактическое значение для операторской отображено в таблице 10:

Таблица №9. Допустимые уровни звукового давления и эквивалентного уровня звука [20]

Рабочие места	Уровень звука, дБа	
	Фактическое значение	Допустимое значение
Операторская	55	60

Для работ вблизи насосов, обеспечить работников средствами СИЗ , такими как: противошумовые наушники, вкладыши, шлемы и каски.

Вывод: уровень звука в рабочей зоне соответствует нормативному значению.

Утечки токсичных и вредных веществ в атмосферу

Работа на Томском НПЗ характеризуется опасностью вдыхания вредных веществ, таких как, например, топливный бензин. Это вещество, имеющее класс опасности IV, является канцерогеном и находится в воздухе в агрегатном состоянии паров. Согласно ГОСТ 12.1.005-88 [], устанавливается предельно допустимая концентрация паров данного вещества в воздухе рабочей зоны, равная 100 мг/м³. Другие опасные вещества – диоксиды серы и азота, концентрация которых в производственных помещениях в норме. Фактические значения концентрации и ПДК отображены в таблице 11:

Таблица №10. ПДК бензина и других веществ в воздухе рабочей зоны

Вещество	ПДК, мг/м ³	
	Фактическое значение	Допустимое значение
Бензин топливный	2	100
Диоксид серы	0.0032	0.006
Диоксид азота	0.017	0.085

Анализ опасных производственных факторов и обоснование мероприятий по их устранению (техника безопасности).

Электробезопасность

Согласно ПУЭ (6 издание), п. 1.7.33. Помещения *без повышенной опасности* поражения людей электрическим током характеризуются отсутствием условий, создающих повышенную или особую опасность, таких как:

- Влажность, превышающая 75% (влажность в производственных помещениях не превышает этого значения);
- Токопроводящие полы (металлические, земляные, железобетонные, кирпичные)(полы в производственных помещениях ток не проводят);
- Высокая температура (выше +35°C)(температура в производственных помещениях не превышает этого значения);

Возможность одновременного прикосновения человека к имеющим соединения с землей металлоконструкциям зданий, механизмов, с одной стороны, и к металлическим корпусам электрооборудования – с другой.

Такие производственные помещения Томского Нефтеперерабатывающего Завода как операторская, характеризуются отсутствием условий, создающих повышенную или особую опасность, и поэтому относится к категории помещений без повышенной опасности поражения людей электрическим током согласно ПУЭ (6 издание)

Статическое электричество

Для предупреждения накопления статического электричества, возникающего при движении нефти по трубопроводам, заполнении и пропаривании РВС, заправке автоцистерн нефтью применяется защитное заземление оборудования и трубопроводов.

С целью уменьшения потенциала статического электричества проводятся следующие мероприятия:

- первоначальное заполнение резервуаров и автоцистерн необходимо вести с минимальной скоростью;
- ввод нефти в аппараты, резервуары и автоцистерны производится под слой нефти;
- автоцистерны до начала заполнения присоединяются к заземляющему устройству.

Для снижения интенсивности накопления электрических статических зарядов на нефтепродуктах внутри резервуаров допускается использование металлических

струн, протянутых вертикально внутри резервуаров от крыши до днища. При этом резервуар должен быть заземлен.

Фланцевые соединения трубопроводов, аппаратов, корпусов с крышками и соединения на разбортовке не требует дополнительных мер по созданию непрерывной электрической цепи. При этом запрещается применение шайб из диэлектрических материалов и шайб, окрашенных неэлектропроводными красками.

Средства индивидуальной защиты от статического электричества:

- Специальная одежда антиэлектростатическая;
- Специальная обувь антиэлектростатическая;
- Предохранительные приспособления антиэлектростатические (кольца и браслеты);
- Средства защиты рук антиэлектростатические(перчатки);

Техника безопасности при работе с аппаратами, работающими под действием внутреннего избыточного давления

Параметры, обуславливающие безопасность работы с такими аппаратами – механическая прочность и герметичность, а также коррозионная стойкость. Главным условием герметичности является плотное соединение деталей аппаратов, а также технологических трубопроводов при помощи сварных или фланцевых соединений. Все сварные швы проверяются на герметичность. Герметичность фланцевого соединения обеспечивается за счет правильного выбора прокладки и конструкции самого фланца.

Элементы конструкции аппаратов не имеют углов, кромок, заусенцев, наплывов, металла после сварки и поверхностей с неровностями, представляющих источник опасности.

Трубопроводы, подводящие и отводящие технологические потоки, имеют цветовые обозначения и снабжаются маркировочными щитками, согласно ГОСТ 14202-75. В подводящих трубопроводах исключены резкие изменения температуры стенки(тепловые удары) при срабатывании предохранительного клапана.

Корпуса аппаратов (колонны, испарителя и теплообменника) и все внутренние их части выполнены из устойчивости к коррозии в среде нефтепродуктов низколегированной стали 09Г2С.

Все предохранительные клапаны клапаны и их вспомогательные устройства защищены от произвольного изменения их регулировки, размещены в местах,

доступных для осмотра. Предохранительные клапаны и их вспомогательные устройства соответствуют ГОСТ 12.2.085-82.

Экологическая безопасность

Источниками выделений загрязняющих веществ в атмосферу являются:

- неплотности оборудования;
- «большое» и «малое» дыхание емкостей (резервуаров);
- оборудование для сжигания топлива (печь, котлы котельной);
- автотранспорт.

Из источников предприятия в атмосферу поступают загрязняющие вещества:

- пары нефти;
- пары нефтепродуктов, в том числе;
- углеводородный газ (УВГ);
- бензиновая фракция;
- дизельное топливо;
- фракция тяжелого дизельного топлива;
- «затемненный» продукт.

При сварочных и слесарных работах, в том числе:

- оксид железа;
- марганец и его соединения;
- фториды неорганические плохо растворимые;
- фтористый водород;
- пыль неорганическая с содержанием SiO_2 20-70%;
- пыль абразивная;
- пыль металлическая(оксид железа);

Мероприятия по уменьшению выбросов загрязняющих атмосферу.

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

- использование герметичного оборудования, арматуры;
- утилизация углеводородных газов, образующихся при разгонке нефти, путем сжигания в качестве топлива;
- использование в качестве жидкого топлива «затемненного продукта» - фракции, образующейся при перегонке нефти;
- подъем на оптимальную высоту труб выбросов организованных источников для улучшения рассеивания;

- установка на территории промплощадки датчиков загазованности, позволяющих оперативно обнаружить и устранить источник загрязнения;
- система налива автоцистерн оснащена автоматическими ограничителями налива.

Для предотвращения загрязнений поверхностных и подземных вод от загрязнения предусмотрено:

- сбор, очистка химзагрязненных, хоз-бытовых стоков на очистных сооружениях МНПЗ;
- отвод загрязненных ливневых стоков с отбортованных площадок на очистные сооружения;
- повторное использование очищенных сточных вод в технологическом цикле;
- размещение заглубленных аварийных и дренажных емкостей в бетонных приямках, засыпанных песком; в приямке предусмотрен контроль утечек с использованием приборов КИП;
- отбортовка территории возможных проливов нефти и нефтепродуктов асфальтобетонным покрытием внутри отбортовки;
- очистка хоз-бытовых, химзагрязненных и ливневых стоков на очистных сооружениях до ПДК для рыбохозяйственных водоемов перед сбросом их в отведенный для сброса водоем(Ручей);
- проведение аналитического контроля состава очищенных сточных вод на выходе с очистных сооружений и состава загрязнений р. Ручей в месте сброса(створа).

Деятельность предприятия по обращению с опасными отходами:

- складирование опасных промышленных отходов на предприятии не предусматривается;
- временное хранение отходов до утилизации производится в зависимости от класса опасности, физико-химических характеристик;
- отходы VI, V классов опасности (отходы от ремонтных работ, использованная тара, твердые бытовые отходы) временно хранятся в контейнерах на площадке для установки контейнеров;
- отработанные масла, жидкий шлам от очистных сооружений собираются в контейнеры, бочки на площадке для временного хранения отходов;
- шлам от зачистки резервуаров удаляется моечной машиной в автоцистерны или вручную в металлические контейнеры и вывозится без временного хранения на полигон промышленных токсичных отходов.

Площадка для временного хранения отходов имеют твердое покрытие и подъезд для автотранспорта.

Таблица №11. Все отходы производства

Наименование	Место образования	Код по ФККО	Физико-химическая характеристика и состав	Периодичность образования	Количество отходов (всего) т/год	Использование отходов		Способ удаления (складирования)
						Передано другим предприятиям	Заскларировано на полигоне	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Катионит КУ-2-8 час (отработанный)	Котельная, Узел водоподготовки	5710240101005	Твердое вещество, Высокомолекулярные полимерные соединения	1 раз в 20 лет	0,15	-	0,15	Вывоз на полигон твердых бытовых отходов в качестве изолирующего слоя
Отработанное промышленное масло	Насосные склады и установки	5410020502033	Жидкость, состав: - масло – 95%; - мехпримеси - 5%; $\rho \approx 900 \text{ кг/м}^3$	2 раза в год	0,15	0,15	-	Вывоз на предприятия регенерации масел

Отработанное масло трансформаторное	Трансформаторная подстанция	5410020702033	Жидкость, состав: - масло – 95%; - мехпримеси - 5%; $\rho \approx 900 \text{ кг/м}^3$	1 раз в 2 года	1,54	1,54	-	Вывоз на предприятия регенерации маселЖ
---	--------------------------------	---------------	--	----------------	------	------	---	---

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Жидкий шлам от зачистки резервуаров	Склад нефти и нефтепродуктов	5460150104033	Жидкость, состав: - вода – 70%; - мехпримеси - 26%; нефтепродукты – 4% $\rho \approx 1050 \text{ кг/м}^3$	1 раз в 2 года	38,2	-	-	Используется в технологии производства
Твердый шлам от зачистки резервуаров	Склад нефти и нефтепродуктов	5460150104033	Твердый влажный продукт, состав: - вода – 10%; - мехпримеси - 85%; -нефтепродукты – 5%	1 раз в 2 года	1,1	-	-	Вывоз на полигон промышленных токсичных отходов г.Томска

Нефтешлам (песок, Загрязненный нефтепродукт)	Песколовка	5460030004033	Твердый влажный продукт, состав: - вода – 79,9%; - нефть - 1%; - взвешенные вещества – 16,2%; - неионогенные ПАВ – 2,9%	1 раз в год	11,2	-	-	Вывоз на полигон промыш ленных токсичн ых отходов г.Томска
Нефтепродукт ы (ловушечный продукт)	Локальные очистные сооружени я нефтесодер жащих сточных вод	54600200006033	Жидкость, состав: -нефтепродукты – 100%	1 раз в год	0,92	-	-	На сжигани е собствен ной котельн ой

Ил после биологической очистки	Со станции биологической очистки бытовых сточных вод	-	-	1 раз в год	0,66	-	-	Вывоз на бытовые очистные сооружения в места, согласованные с санэпидстанцией
--------------------------------	--	---	---	-------------	------	---	---	---

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Использованная невозвратная тара: полиэтиленовая	-	5710290313995	Полиэтиленовая тара	-	0,05	-	0,05	Вывоз на полигон промышленных токсичных отходов г.Томска
Ртутные лампы, люминесцентные ртутьсодержащие трубки	-	3533010013011	-	-	0,01	0,01	-	Вывоз на Специализированные предприятия по договоренности

Обтирочный материал, загрязненный маслами (содержание масел 15%)	-	5490270101034	-	-	0,15	-	-	Вывоз на полигон промышленных токсичных отходов г.Томска
*Бытовые отходы твердые: - смет с территории; - мусор бытовых помещений несортированные; -отходы канцелярской деятельности; - пищевые отходы буфета; -отходы деятельности медпункта; -строительный мусор	-	9120040001004	-	-	3,86	-	3,86	Вывоз на полигон твердых бытовых отходов

*Количество твердых бытовых приведено исходя из нормы бытовых отходов на 1 работающего – 0,25 м³/год (с нормативным насыпным весом – 0,186 т/м³).

Токсичность отходов определяется в соответствии с:

- «Федеральным классификационным каталогом отходов (ФККО)», утвержденным Приказом МПР России от 02.12.2002 г. №786;
- «Дополнением к ФККО», утвержденным указом МПР России от 30.07.2003 г. №66.

Безопасность в ЧС

Пожаровзрывобезопасность

Установка отбензинивания дизельной фракции характеризуется как объект с повышенной взрывопожароопасностью, и, в соответствии с [37], ей присвоена категория пожарной опасности «А». Также в процессе работы применяются и производятся нефтепродукты, нагретые до 350 С°, и по своим свойствам относятся к ЛВЖ и ГЖ.

Мероприятия для обеспечения пожаровзрывобезопасности.

Наиболее опасным во взрывопожарном отношении в процессе производства нефтепродуктов является процесс перегонки нефти. Опасными являются также процессы хранения и отгрузки нефтепродуктов.

Для обеспечения пожаровзрывобезопасности сооружений в проекте предусмотрены следующие мероприятия:

- определены категории по пожаровзрывобезопасности помещений и наружных установок в соответствии с НПБ 105-30;
- определены классы взрывоопасных зон в местах обращения взрывопожароопасных продуктов в соответствии с главой 7.3 ПУЭ;
- размещение зданий и сооружений НПЗ выполнено с учетом противопожарных разрывов, согласно нормам;
- все электрооборудование, размещаемое во взрывопожарных зонах имеет исполнение, соответствующее классу взрывопожароопасной зоны;
- освещение во взрывопожароопасных зонах выполнено в соответствующем ПУЭ;
- выполнена молниезащита зданий и сооружений в соответствии с нормами;
- выполнена защита коммуникаций от заноса высоких потенциалов;
- выполнена защита оборудования и трубопроводов от статического электричества;
- наружное пожаротушение зданий и сооружений осуществляется пожарными гидрантами, устанавливаемыми на кольцевых сетях противопожарного водопровода;

- пожаротушение насосной склада нефти и нефтепродуктов выполнено при помощи отдельного самосрабатывающего порошкового модуля (ОСПМ-2);
- наружные установки УПН100А, 100Б оборудуются стояками сухотрубами Ø80 мм для сокращения времени подачи воды, пены и других огнегасительных средств;
- предусмотрено паротушение и паровая защита печей;
- внутреннее пожаротушение насосных, лабораторий, котельной предусматривается пожарными кранами;
- предусматривается охлаждение при пожаре оборудования и конструкций наружных установок и автоэстакад, резервуаров склада нефти и нефтепродуктов лафетными стволами;
- для пенного пожаротушения на резервуарах склада нефти и нефтепродуктов, узле налива автоцистерн устанавливаются пеногенераторы с сухими трубопроводами;
- для обеспечения противопожарного водоснабжения предусматривается насосная, в которой устанавливается три насоса типа 1Д315-71(2 рабочих, 1 резервный) и два противопожарных резервуара объемом 1000 м³ каждый;
- в производственных помещениях предприятия предусмотрена приточно-вытяжная вентиляция с механическим и естественным побуждением, а также аварийная вентиляция в помещениях категории А и в технологических насосных;
- управление технологическим процессом переработки нефти, хранения и отгрузки продукции осуществляется с помощью АСУ ТП, регулирование рабочих параметров и сигнализация об их отключениях выведены на дисплей в операторных КИП и ЦПУ;
- во взрывоопасных зонах помещений и наружных установок устанавливаются датчики сигнализаторов дозрывных концентраций паров ЛВЖ с выдачей светозвукового сигнала оператору и звукового по месту;
- предусмотрена система пожарной и охранной сигнализации, включающая шлейфы с автоматическими и ручными извещателями, установленными на объектах НПЗ, и приемное контрольное устройство.

Первичные средства пожаротушения

- ручные огнетушители (пенные и водные огнетушители вместимостью 10 литров, порошковые огнетушители, хладоновые огнетушители, углекислотные огнетушители)
- немеханизированный инструмент и инвентарь (асбестовое полотно, грубошерстная ткань, или войлок 2х2, лопаты штыковая и совковая, ящик с песком, ведро)

Чрезвычайные ситуации техногенного характера

Пожар

В случае возникновения пожара на площадке установки отбензинивания дизельной фракции необходимо выполнить следующие действия:

- вызвать пожарную команду, сообщить о пожаре начальнику цеха, оператору ПУ цеха, при необходимости вызвать скорую помощь;
- проверить включение в работу автоматических систем противопожарной защиты (оповещение людей о пожаре, пожаротушения) в случае отказа автоматики произвести ручной запуск;
- произвести аварийную остановку установки отбензинивания и согласующихся с ней установок;
- при необходимости отключить электроэнергию, выключить вентиляторы, перекрыть трубопроводы, прекратить любые работы в пожарной зоне, кроме работ, связанных с ликвидацией пожара;
- удалить за пределы опасной зоны всех работников, не участвующих в тушении пожара;
- принять меры по ликвидации пожара первичными стационарными и передвижными средствами пожаротушения (например, ручными огнетушителями) до прибытия подразделений пожарной охраны;
- организовать встречу подразделений пожарной охраны и оказать помощь в выборе кратчайшего пути для подъезда к очагу пожара;
- пожарная охрана может использовать один или оба противопожарных насоса типа 1ДЗ15-71, устанавливаемых на производственных площадках.

Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.

Томский Нефтеперерабатывающий Завод, как и другие предприятия подобного типа, наносит вред здоровью работников. Для предотвращения большого вреда здоровью, работникам НПЗ полагаются льготы. Это и сокращенный раб день и предоставление дополнительного отпуска и повышенная оплата труда (за тяжесть). Работодатель обязан вести учет работы работника во вредных условиях труда. Ежегодный дополнительный оплачиваемый отпуск предоставляется работникам, занятым на работах, связанных с неблагоприятным воздействием на здоровье человека вредных физических, химических, биологических и иных факторов. Сокращённая рабочая неделя – не более 36 часов в неделю. В то время как у обычных работников, рабочая неделя составляет не более 40 часов неделю. Предоставление спец. одежды и средств СИЗ.

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

Студенту:

Группа	ФИО
2ДЗБ	Меньшов Павел Владимирович

Институт	Природных ресурсов	Кафедра	ОХХТ
Уровень образования	Бакалавр	Направление/специальность	Махп

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Использование информации, представленной в российских и иностранных научных публикациях, аналитических материалах и изданиях, нормативно-правовых документах.
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 потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	Проведение предпроектного анализа. Определение целевого рынка и проведение его сегментирования. Выполнение SWOT-анализа проекта.
2. Определение возможных альтернатив проведения научных исследований	Определение целей и ожиданий, требований проекта. Определение заинтересованных сторон и их ожиданий.
3. Планирование процесса управления НИ: структура и график проведения, бюджет, риски.	Составление календарного плана проекта. Определение бюджета НИ
4. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности.	Проведение оценки экономической эффективности исследования.

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Оценка конкурентоспособности технических решений
2. Матрица SWOT
3. График проведения и бюджет НИ
4. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИ
5. Сравнительная эффективность разработки

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры МЕН	Рыжакина Татьяна Гавриловна	К.Э.Н		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2К32	Меньшов Павел Владимирович		

4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Для анализа потребителей необходимо рассмотреть целевой рынок и провести его сегментирование.

Целевой рынок – сегменты рынка, на котором будет продаваться в будущем разработка. В свою очередь, сегмент рынка – это особым образом выделенная часть рынка, группы потребителей, обладающих определенными общими признаками.

В данной работе продуктом и целевым рынком являются:

продукт: Дизельное топливо;

целевой рынок: автозаправочные станции (АЗС).

SWOT – Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы) – представляет собой комплексный анализ научно-исследовательского проекта.

Результаты первого этапа SWOT-анализа представлены в таблице 2.

Таблица №12. Матрица SWOT

	<p>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Систематическое повышение уровня квалификации. 2. Наличие квалифицированного персонала, имеющего опыт работы в данной области. 3. Наличие постоянных поставщиков. 4. Высокое качество продукции, соответствующее мировым стандартам. 	<p>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Низкий уровень заработной платы для молодых специалистов. 2. Устаревшее оборудование. 3. Высокая степень износа оборудования. 4. Повышение цен у поставщиков. 5. Высокий уровень цен на выпускаемую продукцию.
<p>Возможности:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Спрос на выпуск нефтепродуктов в России, некоторых странах АТР достаточно высок и имеет устойчивую тенденцию к увеличению. 2. Высокое качество поставляемых ресурсов. 	<p>Сильные стороны и возможности:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Эффективное использование ресурсов производства. 2. Оптимизация количества посредников (пользоваться услугами постоянных поставщиков). 3. Поддержание увеличения 	<p>Слабые стороны и возможности:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Создание эффективной системы мотивации и стимулирования для сотрудников. 2. Нарботка и укрепление конкурентных преимуществ продукта. 3. Модернизация оборудования. 4. Внедрение технологии 5. Выбор оптимального

	спроса и выхода на новые рынки сбыта товара за счет высокого качества продукции.	поставщика и заключение договорных отношений
Угрозы: 1. Увеличение уровня налогов. 2. Повышение требований к качеству продукции. 3. Несвоевременные поставки сырья и оборудования.	Сильные стороны и угрозы: 1. Применение оптимальной налоговой политики. 2. Внедрение менеджмента качества. 3. Выбор оптимального поставщика и заключение договорных отношений.	Слабые стороны и угрозы: 1. Повышение цен на выпускаемую продукцию. 2. Выбор оптимального поставщика и заключение договорных отношений.

Расчёт производственной мощности.

Под производственной мощностью химического предприятия (производства, цеха) понимается максимально возможный годовой выпуск готовой продукции в номенклатуре и ассортименте, предусмотренных на плановый период при наилучшем использовании производственного оборудования, площадей в результате внедрения инноваций или проведения организационно-технических мероприятий.

$$M = P_{\text{час.}} \cdot T_{\text{эф.}} \cdot K_{\text{об.}}$$

$$M = 7,86 \cdot 8400 \cdot 1 = 66024 \text{ т}$$

где $P_{\text{час.}}$ – часовая производительность оборудования в натуральных единицах;

$T_{\text{эф}}$ – эффективный фонд времени работы оборудования (час.);

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

Эффективный фонд времени оборудования:

$$T_{\text{эф}} = T_{\text{ном.}} - T_{\text{ППР}} - T_{\text{ТО}}$$

$$T_{\text{эф}} = 365 - 15 = 350$$

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

$T_{\text{ППР}}$ – время простоя в ремонтах за расчетный период (для расчета $T_{\text{ППР}}$ необходимо построить график ППР с указанием времени работы между ремонтами и временем простоя в ремонте);

$T_{\text{ТО}}$ – время технологических остановок.

$$T_{\text{ном}} = T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}$$

$$T_{\text{ном}} = 365 - 0 - 0 = 365$$

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

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

Таблица №13. Баланс рабочего времени оборудования

Показатели	Количество дней (часов)
Календарный фонд времени	365 (8760)
Режимные потери рабочего времени	
выходные	0
праздники	0

Номинальный фонд рабочего времени	365 (8760)
Простой оборудования в ремонтах	15 (360)
Эффективное время работы оборудования за год	350 (8400)

Для анализа использования оборудования рассчитываем экстенсивный и интенсивный коэффициенты.

Коэффициент экстенсивного использования оборудования равен

$$K_{\text{экс}} = T_{\text{эф}}/T_{\text{н}}$$

$$K_{\text{экс}} = 8400/8760 = 0,959$$

Коэффициент интенсивного использования оборудования равен

$$K_{\text{инт}} = Q_{\text{пп}}/Q_{\text{мах}}$$

$$K_{\text{инт}} = 66024/68854 = 0,96$$

где $Q_{\text{пп}}$ – производительность единицы оборудования в единицу времени;

$Q_{\text{мах}}$ – максимальная производительность в единицу времени.

Интегральный коэффициент использования мощности:

$$K_{\text{им}} = K_{\text{экс}} \cdot K_{\text{инт}}$$

$$K_{\text{им}} = 0,959 \cdot 0,96 = 0,92$$

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

$$N_{\text{год}} = K_{\text{им}} \cdot M$$

$$N_{\text{год}} = 0,92 \cdot 66024 = \mathbf{60742 \text{ т}}$$

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

Расчет себестоимости готовой продукции по действующему производству

Расчет годового фонда заработной платы цехового персонала

Расчет численности персонала:

- основных рабочих;
- вспомогательных рабочих;
- ИТР;
- служащих;
- МОП.

Таблица №14. Расчет численности персонала основных рабочих

Категория персонала	Норма обслуживания	Число смен в сутки	Число единиц оборудования	Явочная численность	Эффективное время рабочего	Коэффициент перехода	Списочная численность
	Нобс	S	N	Няв	Тэфф	Кпер.	
Основные рабочие	2	3	1	2	1728	2,52	6
Вспомогательные рабочие	1,67	3	1	3	1728	1,68	9
Итого							15

Таблица №15. Расчет численности ИТР, служащих и МОП

Наименование должности	Категория	Тарифный разряд	Число штатных единиц	Количество смен в сутках	Штатная численность
Начальник цеха	ИТР		1	1	1
Технолог	ИТР	10	1	1	1
Механик			1	1	1
Младший обслуживающий персонал	МОП		3	1	3
Водители на производстве и отгрузке			3	1	3
Итого			9		

Таблица №16. Баланс эффективного времени одного среднесписочного работника

№	Показатели	Дни	Часы
1.	Календарный фонд рабочего времени	365	8760
2.	Нерабочие дни выходные праздничные	182	
3.	Номинальный фонд рабочего времени	183	4392
4.	Планируемые невыходы: очередные и дополнительные отпуска невыходы по болезни или декретные отпуска отпуск в связи с учебой без отрыва от производства выполнение госуд. обязанностей	28 7 15 1	
5	Эффективный фонд рабочего времени	132	3168

Таблица №17. 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	0–8	А	А	А	А	В	В	В	В	С	С	С	С	Д	Д	Д	Д
2	8–16	С	Д	Д	Д	Д	А	А	А	А	В	В	В	В	С	С	С
3	16-24	В	В	С	С	С	С	Д	Д	Д	Д	А	А	А	А	В	В
Отдых		Д	С	В	В	А	Д	С	С	В	А	Д	Д	С	В	А	А

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

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 повременщиков:

$Z_{осн} = Z_{тар} + Пр + Дн.вр + Дпр.дни + Дбриг$,
 где $Z_{тар}$ – тарифный фонд заработной платы, тыс. руб;
 Пр – оплата премий, тыс. руб;
 Дн.вр – доплата за работу в ночное время, тыс. руб;
 Дпр.дни – доплата за работу в праздничные дни, тыс. руб;
 Дбриг – доплата не освобожденным бригадирам, тыс. руб.

Тарифный фонд заработной платы:

$Z_{тар} = \sum Чсп \cdot Тст \cdot Тэф.раб$,
 где $Чсп$ – списочная численность рабочих данного разряда, чел.;
 $Тст$ – дневная тарифная ставка данного разряда, тыс. руб.

Размер премий принимаем равным 20–70 % от тарифного фонда заработной платы.
 По отношению к тарифному фонду заработной платы доплата за праздничные дни составит 40 %.

Дополнительная зарплата (ЗДОП):

$ЗДОП = (ДН * ЗОСН) / ТЭФФ$,
 где ДН – количество дней невыхода на работу по планируемыми причинам (отпуск, ученические, гос.обязанности).

Районный коэффициент для г. Томска – 1,3.

Отчисления на социальные нужды на зарплату – 30 % от ($ЗОСН + ЗДОП$).

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 №18. Расчет годовой потребности в сырье и материалах

Годы	Наименование сырья	Размерность	Количество оборотных средств на весь годовой выпуск, нат.ед.	Цена за единицу, руб	Затраты на оборотные средства, тыс.руб
1 год	Сырье: Товарная нефть	Тонн	150000	5000	750000
	Энергия: Электричество	кВт/час	14,24	3,05	378,379

Расчет амортизационных отчислений

Для расчета амортизационных отчислений необходимо учесть:

- полную стоимость зданий;
- полную стоимость оборудования;
- нормы амортизационных отчислений.

Таблица №19. Расчет амортизационных отчислений

Наименование основных средств	Норма амортизации, %	1 год	
		С _{оф} , тыс.руб	АО, тыс.руб
1.Здание	15	500	75
2.Оборудование	15	5500	825
2.1 Испаритель	15	1000	150
2.2 Колонна отпарная	15	2000	300
2.3 Атмосферная колонна	15	2500	375
Итого		6000	900

Таблица №20. Калькуляция себестоимости на производство и реализацию продукции при заданном объеме производства (Q=60742)

Статьи затрат	Затраты на единицу готовой продукции тыс. руб.	Затраты на весь объем тыс.руб
1.Сырье	10	607420
2.Электроэнергия на технолог. нужды	1	60742
3.Заработная плата производственных рабочих	0,46	27941,32
3.1 Отчисления на соц. нужды производственных рабочих (30%)	0,14	8503,88
Итого переменных издержек	11,6	704607,2
4.Общепроизводственные накладные расходы	3,565	216545,23
4.1 Расходы на содержание и эксплуатацию оборудования:	1,16	70460,72
-Амортизация оборудования	0,015	911,13
-Ремонт оборудования;	1	60742
-Заработная плата ремонтного персонала	0,14	8503,88
- отчисления на социальные нужды 30%	0,0044	267,3
4.2 Заработная плата ИТР:	1,235	75016,37
-Заработная плата технолога с отчислениями;	0,26	15792,92
-Заработная плата механика с	0,325	19741,15

отчислениями ;		
-Заработная плата начальника цеха ;	0,65	39482,3
4.3 Годовой фонд заработной платы вспомогательных рабочих, с учетом численности персонала и отчислений	1,17	71068,14
Итого постоянных издержек	3,565	216545,23
Цеховая (производственная) себестоимость	15,25	926315,5
5. Управленческие расходы	0,76	46163,92
Заводская себестоимость	16,01	972479,42
6. Коммерческие расходы	0,16	9718
Полная себестоимость	16,17	1014391,4
Итого условно-переменные издержки	11,6	704607,2
Итого условно-постоянные издержки	4,57	277590,94

Определение цены готовой продукции

Цену продукта определяем по формуле:

$$Ц = С * (1 + P/100),$$

где С – полная себестоимость единицы готовой продукции;

Р – рентабельность продукции (20%).

$$Ц_{тек} = 16,17 * (1 + 20/100) = 19,404 \text{ тыс. руб.}$$

Принимаем цену равную 25 т.р

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 ($B_{пр}$) равна общим затратам на производство и реализацию продукции:

$$B_{пр} = Q * Ц = 1518550 \text{ тыс. руб.}$$

Определение точки безубыточности:

Аналитическим способом:

$$Q_{кр} = \frac{\text{Изд}_{\text{пост}}}{Ц - \text{Изд}_{\text{пер}}} = \frac{277590,94}{25 - 11,6} = 20715,75 \text{ тонн/г.}$$

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

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

$$Q_{кр} = 20715,75 \text{ тыс. тонн}$$

Графическим способом:

Графически точка безубыточности определяется согласно рис. 7

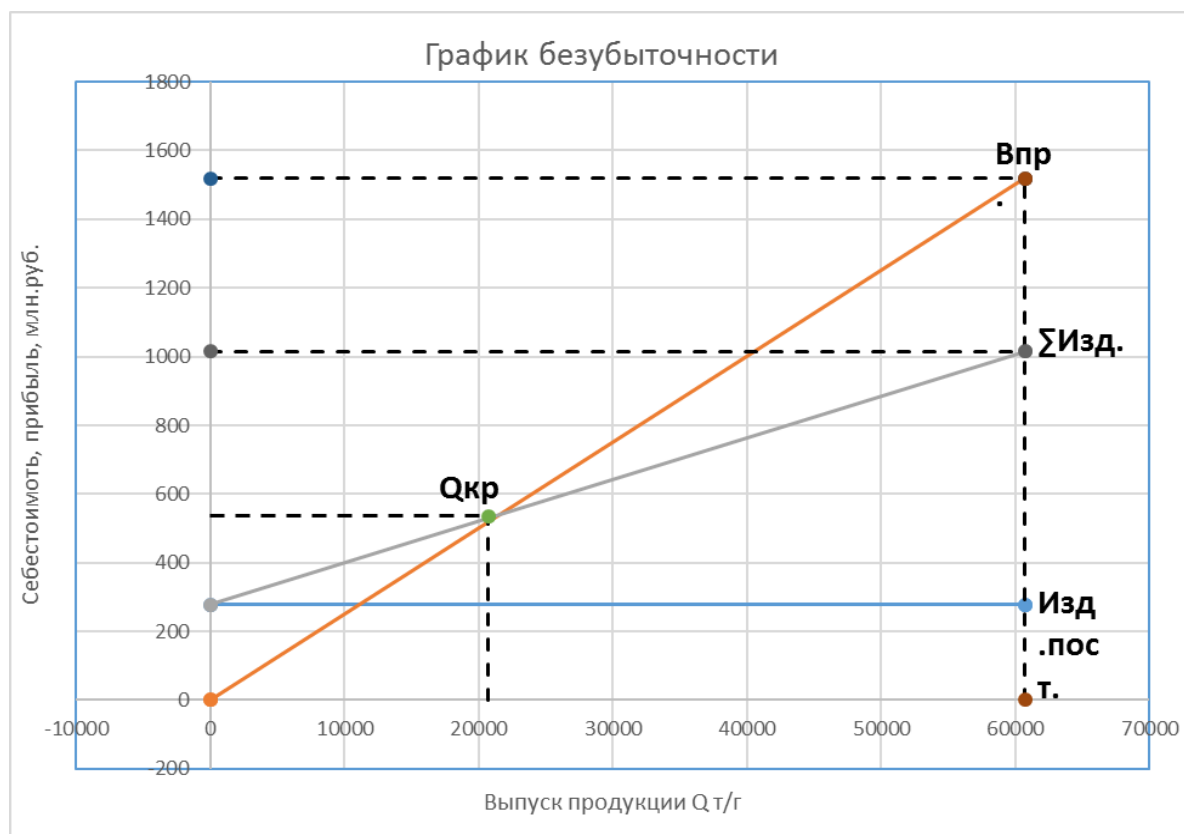


Рисунок 10 – График безубыточности

Таблица №21. Определение технико-экономических показателей

Наименование показателя	Единицы измерения	1 год
1.Объем производства	тонн	60742
2.Объем продаж	тонн	60742
3.Цена за единицу	тыс. руб.	25
4.Выручка от продажи	тыс. руб.	1518550
5.Суммарные издержки	тыс. руб.	982198,14
5.1.Издержки переменные	тыс. руб.	704607,2
5.2.Издержки постоянные	тыс. руб.	277590,94
6.Прибыль операционная	тыс. руб.	536351,86
7.Налог на прибыль	тыс. руб.	107270,372
8.Прибыль чистая	тыс. руб.	429081,488
9.Себестоимость 1 тонны	тыс. руб.	16,7
10.Стоимость основных средств	тыс. руб.	6000
11.Численность основных рабочих	чел.	36
12.Фондовооруженность	тыс. руб./чел.	1666,667
13.Фондоотдача	руб.руб	163,69
14.Фондоемкость	руб.руб	0,004
15.Производительность труда	тыс.руб./чел.	42181,94
16.Рентабельность производства	%	43,6
17.Рентабельность продаж	%	28,2
18.Критический объем продаж	тонн	20715,75
19.Критический объем продаж	тыс. руб	535000

Закдючение

В результате проделанной работы были проведены технологические расчеты, целью которого является определение поверхности теплообмена, а также подбор штуцеров.

Конструктивно - механический расчет, где была рассчитана прочность цилиндрической обечайки и эллиптического днища, был произведен расчет на укрепления отверстий, было получено, что укрепление отверстий требуется, и условие укрепления выполняется, была проведена проверка фланцевых соединений на прочность и герметичность и рассчитаны подобранные седловые опоры.

Произведен гидравлический расчет данного теплообменника. Рассчитана масса аппарата.

По расчетам был построен чертеж "ФЮРА.УПЛДТ.001.000 ВО"

Список литературы

1. Павлов К.Ф., Романков П.Г., Носков А.А. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии. - 2-е изд.- Л.: Химииздат, 2009. - 544с.
2. ГОСТ 15122-79. Теплообменники кожухотрубчатые с неподвижными трубными решетками и кожухотрубчатые с температурным компенсатором на кожухе. Основные параметры и размеры. — М.: Изд-во стандартов, 1980.— 83 с.
3. Семакина О.К. Машины и аппараты химических производств. Ч.I. Учеб. Пособие /Том. политехн. ун-т. – Томск, 2003. – 118 с
4. АТК 24.218.06-90 Штуцера для сосудов и аппаратов стальных сварных. Типы, основные параметры, размеры и общие технические требования. — М.: Изд-во стандартов, 1995.— 46 с.
5. ГОСТ 19903-74. Прокат листовой горячекатаный. Сортамент (с Изменениями N 1-6) — М.: Изд-во стандартов, 1976. — 19 с.
6. ГОСТ Р 52857.1-2007. Нормы и методы расчета на прочность. Общие требования. М.: Изд-во стандартов, 2007. — 26 с.
7. ГОСТ Р 52857.2-2007. Нормы и методы расчета на прочность. Расчет цилиндрических и конических обечаек, выпуклых и плоских днищ и крышек. М.: Изд-во стандартов, 2008.— 44 с.
8. Аппараты теплообменные кожухотрубчатые специального назначения. Испарители с паровым пространством и трубные пучки к ним по ТУ 3612-013-00220302-99.
9. ГОСТ Р 52857.4-2007. Нормы и методы расчета на прочность. Расчет на прочность и герметичность фланцевых соединений. М.: Изд-во стандартов, 2008.— 40 с.
10. ОСТ 26-291-94 Сосуды и аппараты стальные сварные. Общие технические условия
11. ГОСТ 481-80. Паронит и прокладки из него. М.: Изд-во стандартов, 1981.— 17 с.
12. Лацинский А.А. Конструирование сварных химических аппаратов: Справочник. – Спб.: Машиностроение. 1996. – 382 с
13. ГОСТ Р 52857.3-2007. Нормы и методы расчета на прочность. Укрепление отверстий в обечайках и днищах при внутреннем и внешнем давлениях. Расчет на прочность обечаек и днищ при внешних статических нагрузках на штуцер. М.: Изд-во стандартов, 2008.— 29 с.
14. ГОСТ Р 52857.7 – 2007 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Теплообменные аппараты. М.: Изд-во стандартов, 2008.— 50 с.
15. [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://www.nbrkomi.ru>. – Заглавие с экрана. – (Дата обращения: 30.05.2017).

16. Монтаж, эксплуатация и ремонт оборудования отрасли: раб. программа, метод. указ. и контр. задания для студентов специальности 240801 «Машины и аппараты химических производств» ИДО / Сост. О.К. Семакина. – 2-е изд.,испр. – Томск: Изд. ТПУ, 2007. – 42 с
17. ГОСТ 7668-80 Канат двойной свивки типа ЛК-РО конструкции 6х36(1+7+7/7+14)+1 о.с. Сортамент. М.: Изд-во стандартов, 1982.— 15 с.
18. СанПин 2.2.4 548-96 «Гигиенические требования в производственных помещениях»
19. СанПин 2.2.1/2.1.1.1278-03 «Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещённому освещению жилых и общественных зданий»
20. 12.1.003-83 (1999) ССБТ. Шум. Общие требования безопасности
21. ГОСТ 32601-2013 (ISO 13709:2009) Насосы центробежные для нефтяной, нефтехимической и газовой промышленности. Общие технические требования. М.: Изд-во стандартов, 2014.— 32 с.