

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 ОХХТ

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Установка получения легкого дизельного топлива с разработкой теплообменника

УДК 665.75:66.045.1

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2К32	Леонтьев Вячеслав Витальевич		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Семакина Ольга Константиновна	к.т.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Рыжакина Татьяна Гавриловна	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

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

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ОХХТ	Ан Владимир Вилорьевич	к.т.н.		

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>

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС ВПО, критериев и/или заинтересованных сторон
		и <i>FEANI</i>
P8	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>		
P9	Демонстрировать знания социальных, этических и культурных аспектов профессиональной деятельности.	Требования ФГОС (ОК-1,2,6-10), Критерий 5 АИОР (пп.2.4,2.5)
P10	Самостоятельно учиться и непрерывно повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности.	Требования ФГОС (ОК-6,7,8), Критерий 5 АИОР (2.6)
P11	Владеть иностранным языком на уровне, позволяющем разрабатывать документацию, презентовать результаты профессиональной деятельности.	Требования ФГОС (ОК-11) , Критерий 5 АИОР (п.2.2)
P12	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	Леонтьев Вячеслав Витальевич

Тема работы:

Установка получения легкого дизельного топлива с разработкой теплообменника	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	2056/с то 24.03.17

Срок сдачи студентом выполненной работы:	1 июня 2017 г.
--	----------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду,</i></p>	<p><u>Кожухотрубчатый теплообменник с плавающей головкой.</u> <u>Теплоносители:</u> Горячий – ЛДТ: $T_H=226\text{ }^{\circ}\text{C}$, $T_K=200\text{ }^{\circ}\text{C}$; Холодный – обессоленная нефть :$T_H=100^{\circ}\text{C}$, $T_K=80\text{ }^{\circ}\text{C}$; Давление в трубном пространстве: 0,7 МПа; Давление в межтрубном пространстве: 0,1 МПа; <u>Исполнение по материалу:</u> Кожух – 09Г2С, Распределительная камера – 09Г2С, Теплообменная труба – 09Г2С, Трубная решётка – 09Г2С.</p>
--	---

<i>энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i>	Режим работы: непрерывный; Требования к эксплуатации и обслуживанию: простота ремонта и доступность запчастей.
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов (<i>постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе</i>).	Основные конструктивные особенности кожухотрубчатого теплообменника с плавающей головкой.
Перечень графического материала (<i>с точным указанием обязательных чертежей</i>)	Лист 1. Технологическая схема А1; Лист 2. Общий вид теплообменника и выносные элементы А0; Лист 3. 3-D модель теплообменника А0; Лист 4. Техничко-экономические показатели А1.
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы (<i>с указанием разделов</i>)	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Доцент, к.э.н - Рыжакина Татьяна Гавриловна
Социальная ответственность	Ассистент кафедры - Раденков Тимофей Александрович
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
Реферат	

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

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Семакина Ольга Константиновна	к.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2К32	Леонтьев Вячеслав Витальевич		

Реферат

В данной бакалаврской работе рассчитан теплообменник с плавающей головкой для охлаждения легкого дизельного топлива марки «З». Произведены тепловой, конструктивный и механический расчеты оборудования. В механическом расчете были произведены расчеты толщин стенок, укрепления отверстий, фланцевого соединения, седловых опор и узла плавающей головки. Так же был произведен расчет и подбор витого стропа и подбор штуцеров.

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.

Бакалаврская работа состоит из графической части и пояснительной записки. Графическая часть состоит из 2 листов форматом А0 и 2 листов форматом А1. Пояснительная записка состоит из 97 страниц, 19 таблиц, 7 рисунков и 18 источников литературы.

Abstract

In this bachelor's work, a heat exchanger with a floating head is designed for cooling light diesel fuel grade "3". Thermal, constructive and mechanical calculations of equipment were made. In the mechanical calculation, the wall thickness calculations, the reinforcement of the holes, the flange connection, the saddle supports and the floating head assembly were made. Also, the calculation and selection of the twisted sling and the selection of the fittings were made.

In the section "Social responsibility" the issues of ensuring the safety of personnel and environmental protection are considered.

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

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

The graphic part consists of 2 sheets in A0 format and 2 sheets in A1.I format. The explanatory note consists of 97 pages, 19 tables, 7 figures and 18 sources.

Содержание

Введение	9
1. Описание технологической схемы.	10
2. Расчет кожухотрубчатого теплообменника	11
2.1 Тепловой расчет	11
2.2 Конструктивный расче	15
2.2.1 Расчет и подбор патрубков	16
2.3 Механический расчет теплообменника	17
2.3.1 Расчетные параметры	17
2.3.2 Определение температурных деформаций	19
2.3.3 Расчет толщин стенок	21
2.3.4 Расчет развальцовки	27
2.3.5 Расчет фланцевого соединения	27
2.3.6 Расчет укрепления отверстий	37
2.3.7 Поверочный расчет теплообменника	39
2.3.7.1 Расчет толщины трубной решетки	39
2.3.8 Расчет перегородки между ходами по трубному пространству	50
2.3.9 Расчет веса аппарата	51
2.3.10 Подбор и расчет опоры	53
2.4 Гидравлический расчет	64
2.5 Расчет строповых устройств	66
2.6 Расчет толщины изоляции	67
3. Социальная ответственность	70
4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	85
Заключение	94
Список использованной литературы	95

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.

Первичная переработка (или же прямая перегонка) - это разделение нефти на отдельные фракции по температурам кипения. Она осуществляется в специальных ректификационных колоннах. В результате этого процесса получают, в частности, дизельные фракции, используемые для изготовления соответствующего топлива.

Вторичная переработка изменяет химический состав и структуру углеводородов. Основной ее метод - крекинг (от англ. *cracking* - расщепление), при котором происходит расщепление крупных молекул мазута на более мелкие. Крекинг может быть: термическим (расщепление идет под действием высоких температур без участия какого-либо катализатора), каталитическим (в присутствии катализатора), а также гидрокрекингом (помимо катализатора присутствует водород). Далее начинается удаление из топлива серы, для чего используется гидроочистка, которая, по сути, является разновидностью гидрокрекинга. По сравнению с прямой перегонкой все процессы вторичной переработки весьма сложны в технологическом плане и отличаются очень высокой стоимостью. Однако они необходимы, поскольку помогают заметно увеличить выход товарного дизтоплива и заодно - улучшить его качество.

Смешение (компаундирование) – третий этап производства дизельного топлива – это соединение прямогонных фракций с компонентами вторичных процессов и присадок. Это завершающий процесс получения товарного дизельного топлива. Стоит заметить, что дизтопливо получают путем смешения прямогонных и прошедших гидроочистку фракций в соотношениях, гарантирующих выполнение требований стандарта содержания серы.

1. Описание технологической схемы

Поток флегмы (смесь бензиновой и дизельной фракции) с девятой тарелки основной атмосферной колонны, являющийся питанием для отпарной колонны К302, поступает в нее с температурой 190 °С. Колонна К302 - насадочная, работающая при избыточном давлении 0.25 МПа. Температура низа 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 21-й тарелки атмосферной колонны, взятой в количестве при температуре 290 °С. Давление в испарителе 0.6 МПа. Пары бензиновой фракции возвращаются обратно в атмосферную колонну с температурой 250 °С. Легкая дизельная фракция выходит из испарителя с температурой 226 °С. Уровень дизельной фракции в испарителе поддерживается переливной перегородкой. Далее поток дизельной фракции поступает на охлаждение в теплообменник Т304, в межтрубное пространство которого подается горячий теплоноситель – легкое дизельное топливо с температурой 226 °С, а в трубное – холодный – обессоленная нефть с температурой 85 °С. После охлаждения до 200 °С дизельное топливо отправляется на последующее охлаждение, а нефть на нагрев.

вававапвап

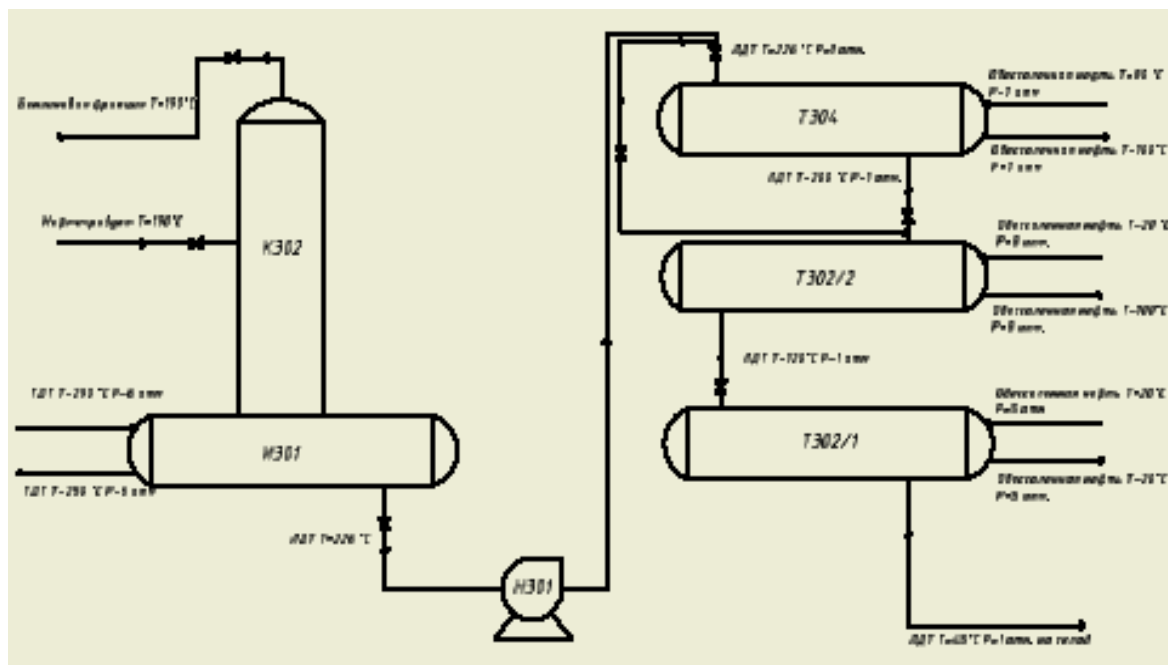


Рисунок №1. Технологическая схема.

2. Расчет кожухотрубчатого теплообменника

2.1 Тепловой расчет

$G_{\text{ЛДТ}} := 1.4 \frac{\text{кг}}{\text{с}}$ Количество охлаждаемого легкого одизельного топлива (ЛДТ)

$G_{\text{нефти}} := 12 \frac{\text{кг}}{\text{с}}$ Количество нагреваемой нефти

$t_{\text{нач.нефти}} := 80 \text{ } ^\circ\text{C}$ Начальная температура нефти

$t_{\text{кон.нефти}} := 100 \text{ } ^\circ\text{C}$ Конечная температура нефти

$t_{\text{нач.лдт}} := 226 \text{ } ^\circ\text{C}$ Температура ЛДТ до охлаждения

$t_{\text{кон.лдт}} := 200 \text{ } ^\circ\text{C}$ Температура ЛДТ после охлаждения

$P_t := 0.7 \text{ МПа}$ Давление в трубах аппарата

$P_k := 0.1 \text{ МПа}$ Давление в кожухе аппарата

$\rho_{\text{ЛДТ}} := 840 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ Плотность ЛДТ

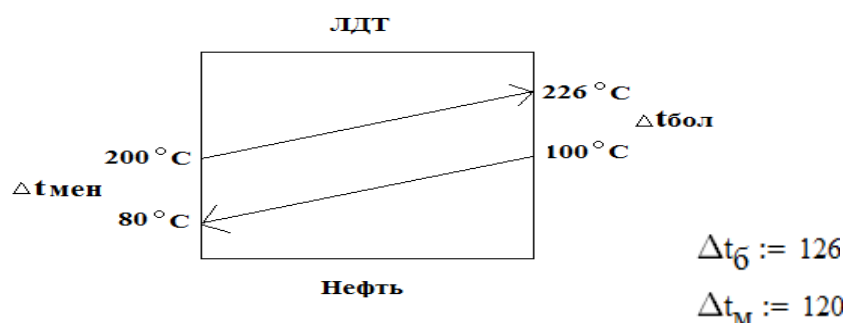
$\rho_{\text{нефти}} := 835 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ Плотность нефти

$C_{\text{ЛДТ}} := 1950 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot\text{К}}$ Средняя удельная теплоемкость ЛДТ Средняя

$C_{\text{нефти}} := 2280 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot\text{К}}$ удельная теплоемкость нефти

Количество теплоты(расчет ведется по трубному пространству).

$$Q_i := [G_{\text{нефти}} \cdot C_{\text{нефти}} \cdot (t_{\text{кон.нефти}} - t_{\text{нач.нефти}})] = 5.472 \times 10^6 \text{ Вт}$$



Определим среднюю температуру.

$$\Delta t_{cp} := \frac{(126 + 120)}{2} = 123 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Ориентировочный коэффициенты теплопередачи при вынужденном движении определяем по таблице 4.8 [1]:

$$K_{op1} := 120 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$$

$$K_{op2} := 270 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$$

Рассчитываем ориентировочную поверхность теплообмена:

$$F_{op1} := \frac{Q_i}{K_{op2} \cdot \Delta t_{cp}} = 16.477 \text{ м}^2$$

$$F_{op2} := \frac{Q_i}{K_{op1} \cdot \Delta t_{cp}} = 37.073 \text{ м}^2$$

Подбор стандартного теплообменника на основе ориентировочного значения поверхности теплопередачи.

Выбираем аппарат по подходящим приведенным параметрам по [2].

Диаметр кожуха (внутренний), мм	Число труб, шт		Поверхность теплообмена, м ²	Длина труб, м
	Общес	На один ход		
400	166	83	31	3

Таблица №1. Характеристики теплообменника типа ТН.

Расчет площади поверхности теплообмена

Межтрубное пространство

$$d_{нар.труб} := 0.02 \text{ м}$$

Объемный расход ЛТД

$$V_1 := \frac{G_{ЛТД}}{\rho_{ЛТД}} = 1.667 \times 10^{-3} \frac{\text{м}^3}{\text{с}}$$

Скорость ЛДТ

$$S_{cg} := 0.02 \text{ м} \text{ площадь сечения в вырезе перегородки}$$

$$\omega_1 := \frac{V_1}{S_{cg}} = 0.083 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$\mu_s := 0.6 \cdot 10^{-3}$ Па·с Динамическая вязкость ЛДТ

Критерий Рейнольдса [1]

$$Re_1 := \frac{\omega_1 \cdot d_{\text{нар.труб}} \cdot \rho_{\text{ЛДТ}}}{\mu_s} = 2.333 \times 10^3$$

$\lambda_1 := 0.0361$ $\frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$ Коэффициент теплопроводности

Находим критерий Прандтля [1]

$$Pr_1 := \frac{C_{\text{ЛДТ}} \cdot \mu_s}{\lambda_1} = 32.41$$

Находим критерий Нуссельта [1]

$$Nu_1 := 0.22 \cdot Re_1^{0.65} \cdot Pr_1^{0.36} \cdot 1 = 118.974$$

Находим коэффициент теплоотдачи [1]

$$\alpha_1 := \frac{Nu_1 \cdot \lambda_1}{d_{\text{нар.труб}}} = 214.748 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$$

Трубное пространство

$n := 166$ шт Количество труб

$d_{\text{внутр.труб}} := 0.016$ м

Площадь поперечного сечения всех труб

$$S_t := n \cdot d_{\text{внутр.труб}}^2 \cdot 0.785 = 0.033 \text{ м}^2$$

Скорость нефти в трубах

$$\omega_2 := \frac{G_{\text{нефти}}}{\rho_{\text{нефти}} \cdot S_t} = 0.431 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$\mu_{\text{ст}} := 0.65 \cdot 10^{-3}$ Па·с Динамическая вязкость нефти

Критерий Рейнольдса [1]

$$Re_2 := \frac{\omega_2 \cdot d_{\text{внутр.труб}} \cdot \rho_{\text{нефти}}}{\mu_{\text{ст}}} = 8.855 \times 10^3$$

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

Находим критерий Прандтля [1]

$$Pr_2 := \frac{\mu_{\text{ст}} \cdot C_{\text{нефти}}}{\lambda_2} = 2.744$$

Находим критерий Нуссельта [1]

$$Nu_2 := 0.022 \cdot Re_2^{0.8} \cdot Pr_2^{0.4} \cdot \left(\frac{\mu_s}{\mu_{\text{ст}}} \right)^{0.25} = 46.435$$

Находим коэффициент теплоотдачи [1]

$$\alpha_2 := Nu_2 \cdot \frac{\lambda_2}{d_{\text{внутр.труб}}} = 1.567 \times 10^3 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$$

Коэффициенты термического загрязнения [1]:

$$r_z := 2900 \quad \text{Для нефти} \quad \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$$

$$r_y := 2900 \quad \text{Для ЛДТ} \quad \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$$

Коэффициент теплопроводности материала труб (сталь 09Г2С) [1]:

$$\lambda_{\text{ст}} := 46.5 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$$

$$r_{\text{ст}} := \left(\frac{1}{2900} + \frac{1}{2310} + \frac{1}{2900} \right) = 1.123 \times 10^{-3} \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}}$$

Находим коэффициент теплопередачи [1]

$$K_e := \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + r_{\text{ст}} + \frac{1}{\alpha_2}} = 155.83 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$$

$$q := K_e \cdot \Delta t_{cp} = 1.917 \times 10^4$$

$$F_c := \frac{Q_i}{K_e \cdot \Delta t_{cp}} = 28.549 \text{ м}^2$$

2.2 Конструктивный расчет

Расчет ведем по [5]

По трубному пространству

Площадь проходного сечения трубок одного хода

$$f_1 := \frac{G_{\text{нефти}}}{\rho_{\text{нефти}} \cdot \omega_2} = 0.033 \text{ м}^2$$

Число трубок одного хода

$$n_1 := \frac{f_1}{0.785 \cdot d_{\text{внутр.труб}}^2} = 166$$

Расчетная длина одной трубки при одном ходе

$$L_2 := \frac{F_c}{\pi \cdot d_{\text{нар.труб}} \cdot n_1} = 2.737$$

Число ходов трубного пространства, при длине труб 3 м.

$$Z := \frac{L_2}{3} = 0.912 \text{ принимаем } Z_1 := 2$$

Шаг труб при $d_{\text{нар.труб1}} := 20 \text{ мм}$

$$t := 1.2 \cdot d_{\text{нар.труб1}} + 2 = 26 \text{ мм}$$

$\eta := 0.8$ коэффициент заполнения трубной решетки

Общее число трубок

$$n_2 := Z_1 \cdot n_1 = 332$$

Диаметр теплообменника

$$D_{\text{ВН}} := 1.1 \cdot t \cdot \sqrt{\frac{n_2}{\eta}} = 582.626 \text{ мм}$$

Выбираем стандартный теплообменник типа ТН по [2]:

$$D_{\text{ВН}} := 600 \text{ мм} \quad \text{диаметр}$$

$$\text{теплообменника } Z := 2 \quad \text{число ходов}$$

$$n := 370 \quad \text{шт} \quad \text{количество трубок}$$

$$F := 70 \quad \text{м}^2 \quad \text{поверхность теплообмена}$$

$$L_3 := 3000 \text{ мм} \quad \text{длина труб}$$

2.2.1 Расчет подбор патрубков

По [4]

$$G_s := 1.4 \quad \frac{\text{кг}}{\text{с}} \quad \text{Количество охлаждаемого ЛДТ}$$

$$G_d := 12 \quad \frac{\text{кг}}{\text{с}} \quad \text{Количество нагреваемой нефти}$$

$$\rho_b := 840 \quad \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \quad \text{Плотность ЛДТ}$$

$$\rho_i := 835 \quad \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \quad \text{Плотность нефти}$$

$$\omega_1 := 0.1 \quad \frac{\text{м}}{\text{с}} \quad \text{Скорость ЛДТ}$$

$$\omega_2 := 0.82 \quad \frac{\text{м}}{\text{с}} \quad \text{Скорость нефти}$$

1. Внутренний диаметр штуцеров для подвода и отвода легкого дизельного топлива.

Диаметр штуцера равен:

$$d_{\text{ВН.шт}} := \sqrt{\frac{4 \cdot G_s}{\pi \cdot \omega_1 \cdot \rho_b}} = 0.146 \quad 150 \text{ мм} \quad \text{при давлении } 0.1 \text{ МПа}$$

Таблица №2. Характеристики фланца патрубка для подвода и отвода ЛДТ.

$P_y, \text{МПа}$	Dy	Dф	Dб	D1	D2	D4	D6	h	d	Число отверстий Z
≤0.25	150	260	225	202	192	161	164	13	18	8

Рассчитанный диаметр округляем до ближайшего большего значения в соответствии с нормализованным диаметром условного прохода штуцеров

кожухотрубных т/о.

2. Внутренний диаметр штуцеров для подвода и отвода нефти.

Диаметр штуцера равен:

$$d_{\text{штуц}} := \sqrt{\frac{4 \cdot G_d}{\pi \cdot \omega_2 \cdot \rho_i}} = 0.149 \quad 150 \text{ мм} \quad \text{при давлении } 0.7 \text{ МПа}$$

Таблица №3. Характеристики фланца патрубка для подвода и отвода нефти.

Рy, МПа	Dy	Dф	Dб	D1	D2	D4	D6	h	d	Число отверсти й z
	1.0	150	280	240	212	201	161	164	21	

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

2.3 Механический расчет теплообменника

2.3.1 Расчетные параметры

Расчетное напряжение

Основные характеристики стали определяются согласно с ГОСТ Р 52857.1 2007 [3]: допустимое напряжение, предел текучести, модуль упругости.

Расчетная температура

$$t_p := 226 \quad ^\circ\text{C}$$

Выбор стали для кожуха теплообменника обоснован в первую очередь хладостойкостью данной стали. Так как аппарат устанавливается на открытой площадке, температура воздуха в зимнее время может достигать -40°C . Согласно данным из [4] сталь (09Г2С) может использоваться с рабочей температурой от -40°C до $+475$, относится к углеродистым низколегированным сталям. Обладает легкой свариваемостью и высокой механической прочностью.

Допустимое напряжение определим согласно [3]: при температуре 20°C

$$\eta_1 := 1 \quad Re_{20} := 300 \quad n_t := 1.1$$

$$\sigma_{д20} := \eta_1 \cdot \left(\frac{Re_{20}}{n_t} \right) = 272.727 \quad \text{МПа}$$

при температуре в кожухе

$$t := \begin{pmatrix} 200 \\ 250 \end{pmatrix} \quad \sigma_{д226} := \begin{pmatrix} 165 \\ 162 \end{pmatrix}$$

$$\sigma_{д226} := \text{Floor}(\text{linterp}(t, \sigma_{д226}, t_p), 0.5) \quad \sigma_{д226} = 163$$

МПа при температуре в трубах

$$\sigma_{д100} := 160 \quad \text{МПа}$$

Рабочее давление в трубах
аппарата

$$P_{т.} := 0.7 \quad \text{МПа}$$

Рабочее давление в кожухе
аппарата

$$P_{к.} := 0.1 \quad \text{МПа}$$

Коэффициент прочности продольных сварных швов обечайки определяем при условии, что стыковые швы выполняются автоматической сваркой с двусторонним сплошным проваром при длине контролируемых швов 100%, по таблице, в соответствии с рекомендацией [4]:

$$\phi_p := 1$$

Прибавка к расчетным толщинам конструктивных элементов

Скорость коррозии материала от действия заданной среды

$$П := 0.01 \quad \text{мм/год}$$

Срок эксплуатации аппарата

$$тв := 10 \quad \text{лет}$$

Прибавка для компенсации коррозии и эрозии

$$c_1 := П \cdot тв = 0.1 \quad \text{мм}$$

Поправка на минусовое отклонение по [15]

$$c_2 := 0.8 \quad \text{мм}$$

На утонение стенки элемента сосуда при технологических операциях

$$c_3 := 0.2 \quad \text{мм}$$

Прибавка к расчетным толщинам конструктивных элементов:

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

Расчет давлений

Давление в трубном пространстве:

Расчетное давление в трубном пространстве в рабочих условиях:

$$P_{т.} := 0.7 \quad \text{МПа}$$

Давление при гидравлических испытаниях:

$$P_{н1} := 1.25 \cdot P_t \cdot \frac{\sigma_{д20}}{\sigma_{д100}} = 1.491 \text{ МПа}$$

Условное давление

$$P_{усл1} := P_t \cdot \frac{\sigma_{д20}}{\sigma_{д100}} = 1.193 \text{ МПа}$$

Давление в межтрубном пространстве:

Расчетное давление в межтрубном пространстве в рабочих условиях:

$$P_k := 0.1 \text{ МПа}$$

Давление при гидравлических испытаниях:

$$P_{н2} := 1.25 \cdot P_k \cdot \frac{\sigma_{д20}}{\sigma_{д226}} = 0.209 \text{ МПа}$$

Условное давление

$$P_{усл2} := P_k \cdot \frac{\sigma_{д20}}{\sigma_{д226}} = 0.167 \text{ МПа}$$

2.3.2 Определение температурных деформаций

Расчет ведем по [5]

Расчет толщины стенок для теплообменника типа ТН [6]

$$D_{вн} = 600 \text{ Внутренний диаметр аппарата, мм}$$

$$\phi_p := 1 \text{ Коэффициент прочности сварных швов}$$

Расчетная и исполнительные толщины стенок цилиндрической обечайки при внутреннем избыточном давлении

$$s_p := \max \left(\left(\frac{P_k \cdot D_{вн}}{2 \cdot \sigma_{д226} \cdot \phi_p - P_k} \right), \left(\frac{P_{н2} \cdot D_{вн}}{2 \cdot \sigma_{д20} \cdot \phi_p - P_{н2}} \right) \right) s_p = 0.23 \text{ мм}$$

Исполнительная толщина стенки аппарата:

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

Принимаем исполнительную толщину стенки с учетом ряда стандартных толщин:

$$s := 5 \text{ мм}$$

Так как $\left(\frac{s-c}{D_{BH}}\right) = 5 \times 10^{-3} < 0.1$, условия применения формул выполняются

Расчет температурных деформаций

$$D_{BH} := 0.6 \text{ м} \quad n = 370$$

$\alpha_T := 16.6 \cdot 10^{-6} \text{ К}^{-1}$ коэффициент линейного расширения для стали(09Г2С) труб

$\alpha_K := 16.6 \cdot 10^{-6} \text{ К}^{-1}$ коэффициент линейного расширения для стали(09Г2С) кожуха

$t_K := 213 \text{ }^\circ\text{C}$ средняя температура в корпусе

$t_T := 90 \text{ }^\circ\text{C}$ средняя температура в трубах

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

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

$d_H := 0.02 \text{ м}$ Наружный диаметр труб

$D_H := 0.61 \text{ м}$ Наружный диаметр кожуха

$$F_K := \frac{\pi}{4} \cdot (D_H^2 - D_{BH}^2) = 9.503 \times 10^{-3} \text{ м}^2$$

$$F_T := \frac{\pi}{4} \cdot (d_H^2 - 0.016^2) \cdot n = 0.042 \text{ м}^2$$

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

$$\sigma_K := \frac{(|\alpha_T \cdot t_T - \alpha_K \cdot t_K|) \cdot E_K \cdot E_T \cdot F_T}{E_T \cdot F_T + E_K \cdot F_K} = 299.506 \text{ МПа}$$

$$\sigma_T := \frac{(|\alpha_T \cdot t_T - \alpha_K \cdot t_K|) \cdot E_K \cdot F_K \cdot E_T}{E_T \cdot F_T + E_K \cdot F_K} = 68.018 \text{ МПа}$$

$\sigma_{K1} := 162$ Допускаемое напряжение для материала корпуса

$\sigma_{T1} := 158$ Допускаемое напряжение для материала труб

Так как температурные напряжения для корпуса больше допускаемых и разность температур между теплоносителями составляет более 70 градусов, то применение теплообменника типа ТН не допустимо, следовательно выбираем теплообменник типа ТП.

Согласно [7] выбираем теплообменник

$$D_{BH} := 500 \text{ мм} \quad \text{диаметр теплообменника}$$

$Z := 2$ число ходов

$n := 138$ шт количество труб

$F := 38$ м² поверхность теплообмена

$L_3 := 3000$ мм длина труб

$$\Delta F := \frac{38 - 28.549}{38} \cdot 100 = 24.871 \quad \%$$

Запас поверхности достаточен.

2.3.3 Расчет толщин стенок

Расчет толщины стенки цилиндрической обечайки корпуса аппарата

Расчет ведем по [6]

$$s_p := \max \left(\left(\frac{P_k \cdot D_{вн}}{2 \cdot \sigma_{д226} \cdot \phi_p - P_k} \right), \left(\frac{P_{и2} \cdot D_{вн}}{2 \cdot \sigma_{д20} \cdot \phi_p - P_{и2}} \right) \right) \quad s_p = 0.192 \text{ мм}$$

Исполнительная толщина стенки аппарата:

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

Принимаем исполнительную толщину стенки с учетом ряда стандартных толщин:

$$s := 5 \text{ мм}$$

Так как $\left(\frac{s - c}{D_{вн}} \right) = 6 \times 10^{-3} < 0.1$, условия применения формул выполняются

Допускаемое внутреннее избыточное давление вычисляют по формуле:

В рабочем состоянии

$$P_{д} := \frac{2 \cdot \sigma_{д226} \cdot \phi_p \cdot (s - c)}{D_{вн} + 0.5(s - c)} \quad P_{д} = 1.95 \text{ МПа}$$

При испытаниях

$$P_{д.и} := \frac{2 \cdot \sigma_{д20} \cdot \phi_p \cdot (s - c)}{D_{вн} + 0.5(s - c)} \quad P_{д.и} = 3.263 \text{ МПа}$$

По условию рабочее давление $P = 0,1$ МПа, а рассчитанное допускаемое давление $P_{д} = 1,95$ МПа, следовательно допустимо нагружать обечайку

рабочим давлением $P = 0,1$ МПа.

Расчет толщины стенки распределителем камеры аппарата

Расчет ведем по [6]

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

$$D_{\text{вн.камеры}} := 500 \text{ мм}$$

$$s_p := \max \left(\left(\frac{P_t \cdot D_{\text{вн.камеры}}}{2 \cdot \sigma_{\text{д100}} \cdot \phi_p - P_t} \right), \left(\frac{P_{\text{и1}} \cdot D_{\text{вн.камеры}}}{2 \cdot \sigma_{\text{д20}} \cdot \phi_p - P_{\text{и1}}} \right) \right) \quad s_p = 1.371 \text{ мм}$$

Исполнительная толщина стенки аппарата:

$$s := \text{ceil}(s_p + c) = 4$$

Принимаем исполнительную толщину стенки с учетом ряда стандартных толщин:

$$s := 5 \text{ мм}$$

Так как $\left(\frac{s - c}{D_{\text{вн}}} \right) = 6 \times 10^{-3} < 0,1$, условия применения формул выполняются

Допускаемое внутреннее избыточное давление вычисляются по формуле:

В рабочем состоянии

$$P_{\text{д.р}} := \frac{2 \cdot \sigma_{\text{д100}} \cdot \phi_p \cdot (s - c)}{D_{\text{вн.камеры}} + 0.5(s - c)} \quad P_{\text{д.р}} = 1.914 \text{ МПа}$$

При испытаниях

$$P_{\text{д.и}} := \frac{2 \cdot \sigma_{\text{д20}} \cdot \phi_p \cdot (s - c)}{D_{\text{вн.камеры}} + 0.5(s - c)} \quad P_{\text{д.и}} = 3.263 \text{ МПа}$$

По условию рабочее давление $P = 0,7$ МПа, а рассчитанное допускаемое давление $P_{\text{д.р}} = 1,91$ МПа, следовательно допустимо нагружать обечайку рабочим давлением $P = 0,7$ МПа.

Расчет толщины стенки эллиптической крышки корпуса аппарата

Расчет ведем по [6]

$$D_{\text{вн.кожуха}} := 600 \text{ мм}$$

Высота эллиптической крышки должна быть найдена из допуска в

$$0.2 < \frac{h}{D} < 0.5$$

$$h := 0.25 \cdot D_{\text{вн.кожуха}} \quad \text{где } h \text{ это высота эллиптической крышки, мм}$$

$$h = 150 \text{ мм}$$

$$R_1 := \frac{D_{\text{вн.кожуха}}^2}{4 \cdot h} = 600$$

Рассчитаем исполнительную толщину стенки:

$$s_{\text{э.р}} := \max \left(\left(\frac{P_k \cdot R_1}{2 \cdot \sigma_{\text{д226}} \cdot \phi_p - 0.5 P_k} \right), \left(\frac{P_{\text{и1}} \cdot R_1}{2 \cdot \sigma_{\text{д20}} \cdot \phi_p - 0.5 P_{\text{и1}}} \right) \right) \quad s_{\text{э.р}} = 1.643 \text{ мм}$$

$$s := s_{\text{э.р}} + c \quad s = 3.643 \text{ мм}$$

Принимаем исполнительную толщину стенки с учетом ряда стандартных толщин:

$$s := 5 \text{ мм}$$

Допускаемое внутреннее избыточное давление вычисляют по формуле:

В рабочем состоянии

$$P_{\text{д.р}} := \frac{2 \cdot \sigma_{\text{д226}} \cdot \phi_p \cdot (s - c)}{R_1 + 0.5(s - c)} \quad P_{\text{д}} = 1.626 \text{ МПа}$$

При испытаниях

$$P_{\text{д.и}} := \frac{2 \cdot \sigma_{\text{д20}} \cdot \phi_p \cdot (s - c)}{R_1 + 0.5(s - c)} \quad P_{\text{д.и}} = 2.72 \text{ МПа}$$

Применимость формул по [6]

$$\frac{s - c}{D_{\text{вн.кожуха}}} = 5 \times 10^{-3} \quad (0.002 < 5 \times 10^{-3} < 0.1) \quad \text{Формулы применимы}$$

Расчет толщины стенки эллиптической крышки распределительной камеры

Расчет ведем по [6]

$$D_{\text{вн.камеры}} := 500 \text{ мм}$$

Высота эллиптической крышки должна быть найдена из допуска в

$$0.2 < \frac{h}{D} < 0.5$$

$$h := 0.25 \cdot D_{\text{вн.камеры}} \quad \text{где } h \text{ это высота эллиптической крышки, мм}$$

$$h = 125 \text{ мм}$$

$$R_2 := \frac{D_{\text{вн.камеры}}^2}{4 \cdot h} = 500$$

Рассчитаем исполнительную толщину стенки:

$$s_{\text{э.р}} := \max \left(\left(\frac{P_t \cdot R_2}{2 \cdot \sigma_{\text{д100}} \cdot \phi_p - 0.5 P_t} \right), \left(\frac{P_{\text{и2}} \cdot R_2}{2 \cdot \sigma_{\text{д20}} \cdot \phi_p - 0.5 P_{\text{и2}}} \right) \right) \quad s_{\text{э.р}} = 1.095 \text{ мм}$$

$$s := s_{\text{э.р}} + c \quad s = 3.095 \text{ мм}$$

Принимаем исполнительную толщину стенки с учетом ряда стандартных толщин:

$$s := 5 \text{ мм}$$

Допускаемое внутреннее избыточное давление вычисляются по формуле:

В рабочем состоянии

$$P_{\text{д.р}} := \frac{2 \cdot \sigma_{\text{д100}} \cdot \phi_p \cdot (s - c)}{R_2 + 0.5(s - c)} \quad P_{\text{д}} = 1.914 \text{ МПа}$$

При испытаниях

$$P_{\text{д.и}} := \frac{2 \cdot \sigma_{\text{д20}} \cdot \phi_p \cdot (s - c)}{R_2 + 0.5(s - c)} \quad P_{\text{д.и}} = 3.263 \text{ МПа}$$

Применимость формул по [6]

$$\frac{s - c}{D_{\text{вн.камеры}}} = 6 \times 10^{-3} \quad (0.002 < 6 \times 10^{-3} < 0.1) \quad \text{Формулы применимы}$$

Расчет толщины стенки эллиптической крышки плавающей головки

Расчет ведем по [6]

Так как эллиптическая крышка плавающей головки нагружена внутренним избыточным давлением и наружным давлением, то толщину ее стенки нужно находить 2 способами.

1 способ

Эллиптические днища, нагруженные внутренним избыточным давлением

$$D_{\text{вн.плголовки}} := 400 \text{ мм}$$

Высота эллиптической крышки должна быть найдена из допуска в

$$0.2 < \frac{h}{D} < 0.5$$

$$h := 0.25 \cdot D_{\text{вн.плголовки}} \quad \text{где } h \text{ это высота эллиптической крышки, мм}$$

$$h = 100 \text{ мм}$$

$$R_3 := \frac{D_{\text{вн.плголовки}}^2}{4 \cdot h} = 400$$

Расчитаем исполнительную толщину стенки:

$$s_{\text{э.р}} := \max \left(\left(\frac{P_t \cdot R_2}{2 \cdot \sigma_{\text{д100}} \cdot \phi_p - 0.5 P_t} \right), \left(\frac{P_{\text{и2}} \cdot R_2}{2 \cdot \sigma_{\text{д20}} \cdot \phi_p - 0.5 P_{\text{и2}}} \right) \right) \quad s_{\text{э.р}} = 1.095 \text{ мм}$$

$$s := s_{\text{э.р}} + c \quad s = 3.095 \text{ мм}$$

Принимаем исполнительную толщину стенки с учетом ряда стандартных толщин:

$$s := 5 \text{ мм}$$

Допускаемое внутреннее избыточное давление вычисляют по формуле:

В рабочем состоянии

МПа

$$P_{\text{д.и}} := \frac{2 \cdot \sigma_{\text{д}100} \cdot \phi_p \cdot (s - c)}{R_3 + 0.5(s - c)} \quad P_{\text{д}} = 2.391$$

При испытаниях

$$P_{\text{д.и}} := \frac{2 \cdot \sigma_{\text{д}20} \cdot \phi_p \cdot (s - c)}{R_3 + 0.5(s - c)} \quad P_{\text{д.и}} = 4.076 \text{ МПа}$$

Применимость формул по [6]

$$\frac{s - c}{D_{\text{вн.плголовки}}} = 7.5 \times 10^{-3} \quad (0.002 < 7.5 \times 10^{-3} < 0.1) \quad \text{Формулы применимы}$$

2 способ

Эллиптические, нагруженные наружным давлением.

$$K_{\text{э}} := 0.9 \quad n_y := 2.4$$

$$s_{\text{э.п}} := \max \left(\frac{K_{\text{э}} \cdot R_3}{161} \cdot \sqrt{\frac{n_y \cdot P_k}{1.79 \cdot 10^5}}, \frac{1.2 P_k \cdot R_3}{2 \cdot \sigma_{\text{д}100}} \right) \quad s_{\text{э.п}} = 0.15 \text{ мм}$$

$$s := s_{\text{э.п}} + c \quad s = 2.15 \text{ мм}$$

Принимаем исполнительную толщину стенки с учетом ряда стандартных толщин:

$$s := 5 \text{ мм}$$

Допускаемое наружное давление

$$x := 10 \cdot \frac{s - c}{D_{\text{вн.плголовки}}} \cdot \left(\frac{D_{\text{вн.плголовки}}}{2 \cdot h} - \frac{2 \cdot h}{D_{\text{вн.плголовки}}} \right) = 0.113$$

$$K_{\text{э}1} := \frac{1 + (2.4 + 8x) \cdot x}{1 + (3 + 10x) \cdot x} = 0.937$$

$$P_{\text{Е}} := \frac{2.6 \cdot 1.79 \cdot 10^5}{2.4} \cdot \left[\frac{100 \cdot (s - c)}{K_{\text{э}1} \cdot R_3} \right] = 1.553 \times 10^5 \text{ МПа}$$

$$P_{\text{д.плголовки}} := \frac{P_{\text{д}}}{\sqrt{1 + \left(\frac{P_{\text{д}}}{P_{\text{Е}}} \right)^2}} = 2.391 \text{ МПа}$$

Окончательно принимаем исполнительную толщину стенки с учетом ряда стандартных толщин:

$$s := 5 \text{ мм}$$

2.3.4 Расчет развальцовки

Расчет ведем по [5]

Определение деформаций под действием давления:

$$P_T := 0.7 \text{ МПа} \quad n = 138 \quad D_{\text{вн1}} := 0.5 \text{ м}$$

$$P_K := 0.1 \text{ МПа}$$

$$Q := P_K \cdot \frac{\pi}{4} \cdot (D_{\text{вн1}} - n \cdot d_{\text{нар.труб}})^2 + P_T \cdot \frac{\pi \cdot d_{\text{внутр.труб}}^2}{4} = 0.035 \text{ МН}$$

$$f := 0.866 \cdot 0.026^2 - \frac{\pi \cdot d_{\text{нар.труб}}^2}{4} = 2.713 \times 10^{-4} \text{ м}^2$$

Усилие на одну трубу при условии равномерного распределения нагрузки на трубы

$$q := \frac{Q}{n} = 2.542 \times 10^{-4} \text{ МН}$$

Площадь поперечного сечения стенки трубы

$$f_T := \frac{\pi}{4} \cdot (d_{\text{нар.труб}}^2 - d_{\text{внутр.труб}}^2) = 1.131 \times 10^{-4} \text{ м}^2$$

Температурное усилие, приходящееся на одну трубу:

$$q_T := \sigma_T \cdot f_T = 7.693 \times 10^{-3}$$

Тогда, суммарное усилие будет равно:

$$q_c := q + q_T = 7.947 \times 10^{-3} \text{ МН}$$

Удельная нагрузка от давления на единицу длины окружности развальцовки:

$$\sigma_0 := \frac{q}{\pi \cdot d_H} = 4.045 \times 10^{-3} \frac{\text{МН}}{\text{м}} \quad \sigma_0 \leq \sigma_{0,\text{доп}} \quad \sigma_{0,\text{доп}} := 0.04 \text{ МН}$$

Удельная нагрузка на развальцовку от действия суммарного усилия с учетом давления и температурных напряжений

$$\sigma_c := \frac{q_c}{\pi \cdot d_H} = 0.126 \frac{\text{МН}}{\text{м}}$$

2.3.5 Расчет фланцевого соединения

Расчет фланцевого соединения, соединяющего кожух и распределительную камеру по [8].

Материал обечаек и фланцев 09Г2С.

Материал болтов 40Х по [9].

Материал прокладки паронит маслобензостойкий по [10], т.к. среда относительно агрессивна, а также материал подходит по таким параметрам как давление и температура.

Фланцы приварные встык.

Среда взрывоопасна, поэтому уплотнительная поверхность выбрана типа гладкая. Рис. 1

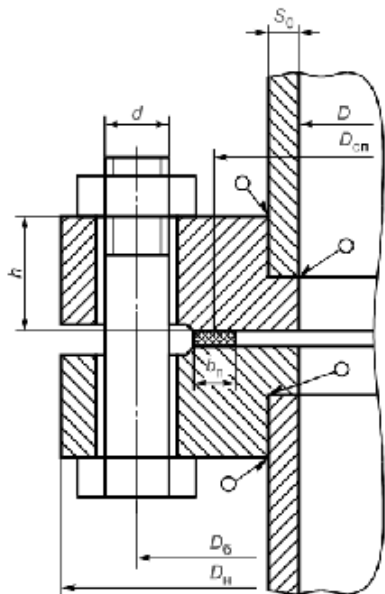


Рисунок №2. Схема фланцевого соединения.

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

$n := 20$ шт Количество шпилек

$t := 226$ Расчетная температура, при которой работает фланец

$P := 0.7$ МПа Максимальное давление, действующее на фланец

$D_{оп} := 670$ мм Диаметр фланца наружный наружный

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

$h := 28$ мм Толщина тарелки фланца

$D_{ш} := 27$ мм Диаметр шпилек

$D_{нп} := 576$ мм Наружный диаметр прокладки

$S_0 := 5$ мм Толщина стенки кожуха

Шпильки M27

Определение расчетных параметров

Расчетные температуры

Расчетная температура неизолированных фланцев

$$t_{\phi} := 0.96t \quad t_{\phi} = 216.96$$

Расчетная температура шпилек

$$t_{\zeta} := 0.85 \cdot t = 192.1 \quad t_{\zeta} = 192.1$$

Допускаемое напряжение для материала шпилек

$$t := \begin{pmatrix} 200 \\ 250 \end{pmatrix} \quad \sigma := \begin{pmatrix} 225 \\ 222 \end{pmatrix}$$

$$\sigma_{\text{д.}\zeta} := \text{Floor}(\text{linterp}(t, \sigma, t_{\zeta}), 0.5) \quad \sigma_{\text{д.}\zeta} = 225 \quad \text{МПа}$$

Модуль упругости для шпилек при рабочей температуре

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

$$E_{\zeta} := \text{Floor}(\text{linterp}(t, E, t_{\zeta}), 0.01) \quad E_{\zeta} = 2.086 \times 10^5 \quad \text{МПа}$$

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

$$\text{Модуль упругости для шпилек при температуре} \quad E_{20\zeta} := 2.18 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

испытания

Коэффициент линейного расширения стали 40Х при $t=20-400^{\circ}\text{C}$

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

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

$$\sigma_{\text{д}} := 163 \text{ МПа} \quad \text{допускаемое напряжение для стали 09Г2С}$$

$$\sigma_{\text{д}20} = 272.727 \text{ МПа} \quad \text{допускаемое напряжение для стали 09Г2С при } 20^{\circ}\text{C}$$

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

$$E := 1.83 \cdot 10^5 \text{ МПа} \quad \text{Модуль упругости для стали 09Г2С при рабочей температуре}$$

$$\alpha_{\phi} := 13.1 \cdot 10^{-6} \frac{1}{\text{K}} \quad \text{Коэффициент линейного расширения для стали 09Г2С при } t=20-300^{\circ}\text{C}$$

Из рекомендации по [10] выбираем толщину прокладки 5 мм

Эффективная ширина плоской прокладки, b_0

$$b_{\Pi} := 5$$

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

$$b_0 = 5$$

Характеристики прокладки по [10]

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

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

$$q_d := 130 \text{ МПа} \quad \text{Допускаемое удельное давление}$$

$$K_{\text{обж}} := 0.9 \quad \text{Коэффициент обжатия}$$

$$E_{\Pi} := 2000 \text{ МПа} \quad \text{Условный модуль сжатия прокладки}$$

Усилие,необходимое для смятия прокладки при затяжке

$$D_{\text{СП}} := D_{\text{НП}} - b_0 = 571$$

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

$$P_{\text{обж}} = 7.848 \times 10^3 \text{ Н}$$

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

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

$$R_{\Pi} = 1.57 \times 10^4 \text{ Н}$$

Площадь поперечного сечения шпилек

приложение Д.1 [8]

$$f_{\zeta} := 430 \text{ мм}^2$$

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

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

Равнодействующая нагрузка от давления

$$Q_d := 0.785 \cdot D_{\text{сп}}^2 \cdot P \quad Q_d = 1.792 \times 10^5 \quad \text{Н}$$

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

$$M := \frac{550}{2} \cdot 317 = 8.717 \times 10^4 \quad \text{Н} \cdot \text{мм} \quad \text{Внешний изгибающий момент примем равным нулю, исходя из условий}$$

приведенная нагрузка, вызванная внешней осевой силой или моментом

$$F := 317 \quad \text{Н}$$

Тогда:

$$Q_{FM} := F + \frac{4 \cdot M}{D_{\text{сп}}} = 927.683$$

Нагрузка, вызванная стесненностью температурных деформаций, рассчитывается по формуле:

Поскольку между фланцами зажата трубная решетка, применяем следующую формулу:

Податливость прокладки

$$h_{\text{п}} := 20$$

$$y_{\text{п}} := \frac{h_{\text{п}} \cdot K_{\text{обж}}}{E_{\text{п}} \cdot \pi \cdot D_{\text{сп}} \cdot b_{\text{п}}} = 1.003 \times 10^{-6}$$

Расстояние между опорными поверхностями гаек

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

$$d := 27 \quad \text{мм} \quad \text{внешний диаметр шпильки, т.к. был выбрана шпилька М27}$$

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

$$L_6 = 125.12 \quad \text{мм}$$

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:

параметр длины обечайки

$$s_{\text{цО}} := 5 \quad \text{толщина обечайки} \quad S_{01} := 18 \quad \text{мм}$$

$$l_0 := \sqrt{D \cdot S_{01}} \quad l_0 = 94.868 \quad \text{мм}$$

Отношение наружного диаметра тарелки фланца к внутреннему диаметру

$$K := \frac{D_H}{D} = 1.34$$

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

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

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

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

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

$$\beta_F := 0.91 \quad \beta_V := 0.55 \quad f_w := 1$$

Коэффициент λ

$$\lambda := \frac{\beta_F \cdot h + l_0}{\beta_T \cdot l_0} + \frac{\beta_V \cdot h^3}{\beta_U \cdot l_0 \cdot S_0^2} \quad \lambda = 1.395$$

Угловая податливость фланцев:

Угловая податливость фланца при затяжке

$$Y_\Phi := \frac{0.91 \cdot \beta_V}{\lambda \cdot l_0 \cdot S_{01}^2 \cdot E_{20}} \quad Y_\Phi = 5.866 \times 10^{-11} \quad \frac{\text{мм}}{\text{Н}}$$

Угловая податливость фланца, нагруженного внешним изгибающим моментом,

$$y_{\phi H} := \left(\frac{\pi}{4}\right)^3 \cdot \frac{D_{6.0}}{E_{20} \cdot h^3 \cdot D_H}$$

$$y_{\phi H} = 1.026 \times 10^{-10}$$

Коэффициент, учитывающий изгиб тарелки фланца между шпильками

$$C_F := \max \left[1, \sqrt{\frac{\pi \cdot D_{6.0}}{n \cdot \left(2 \cdot d + \frac{6 \cdot h}{m + 0.5} \right)}} \right] = 1$$

Плечо действия усилий в шпильках для приварных встык и плоских фланцев

$$b := 0.5(D_{6.0} - D_{сп}) \quad b = 24.5 \text{ мм}$$

Плечо усилия от действия давления на фланец для всех типов фланцев

$$e := 0.5 \cdot (D_{сп} - D - S_0) \quad e = 33 \text{ мм}$$

Эквивалентная толщина плоских фланцев

$$S_3 := S_0 = 5$$

Коэффициент жесткости фланцевого соединения для приварных встык фланцев

$$\gamma := \frac{1}{y_{\Pi} + y_6 \cdot \frac{E_{206}}{E_6} + 2 \cdot b^2 \cdot y_{\phi} \cdot \frac{E_{20}}{E}} \quad \gamma = 8.697 \times 10^5$$

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

$$\alpha := 1 - \frac{y_{\Pi} - 2e \cdot y_{\phi} \cdot b}{y_{\Pi} + y_6 + 2 \cdot b^2 \cdot y_{\phi}} \quad \alpha = 0.203$$

Коэффициент жесткости фланцевого соединения, нагруженного внешним изгибающим моментом

$$\alpha_M := \frac{y_6 + 2 \cdot y_{\phi H} \cdot b \cdot \left(b + e - \frac{e^2}{D_{сп}} \right)}{y_6 + y_{\Pi} \cdot \left(\frac{D_{6.0}}{D_{сп}} \right)^2 + 2 \cdot y_{\phi H} \cdot b^2} \quad \alpha_M = 0.252$$

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

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

$$Q_t = 1.335 \times 10^4 \quad \text{Н}$$

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

$$P_{\sigma 1} := \max \left[\alpha \cdot (Q_d + F) + R_{\Pi} + \frac{4 \cdot \alpha_M \cdot M}{D_{\text{сп}}}, \alpha \cdot (Q_d + F) + R_{\Pi} + \frac{4 \cdot \alpha_M \cdot M}{D_{\text{сп}}} - Q_t \right]$$

$$P_{\sigma 1} = 5.236 \times 10^4 \quad \text{Н}$$

$$P_{\sigma 2} := \max(P_{\text{обж}}, 0.4 \cdot A_{\sigma} \cdot \sigma_{20.6})$$

$$P_{\sigma 2} = 7.912 \times 10^5 \quad \text{Н}$$

Расчетная нагрузка на шпильки фланцевых соединений при затяжке фланцевого соединения:

$$P_{\sigma M} := \max(P_{\sigma 2}, P_{\sigma 1}) \quad P_{\sigma M} = 7.912 \times 10^5$$

Расчетная нагрузка на шпильки фланцевых соединений в рабочих условиях

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

$$P_{\sigma p} = 9.48 \times 10^5 \quad \text{Н}$$

Проверка прочности шпилек и прокладки

Расчетные значения в шпильках

При затяжке:

$$\sigma_{\sigma 1} := \frac{P_{\sigma M}}{A_{\sigma}} \quad \sigma_{\sigma 1} = 92 \quad \text{МПа}$$

В рабочих условиях

$$\sigma_{\sigma 2} = 110.23 \quad \text{МПа}$$

$$\sigma_{62} := \frac{P_{6p}}{A_6}$$

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

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

$$q := \frac{\max(P_{6M}, P_{6p})}{\pi \cdot D_{СП} \cdot b_{II}} \quad q = 105.692 \text{ МПа} \quad q_d = 130 \text{ МПа}$$

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

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

Расчет фланцев на статическую прочность

Расчетный изгибающий момент, действующий на приварной встык фланец при затяжке

$$M_M := C_F \cdot P_{6M} \cdot b \quad M_M = 1.938 \times 10^7 \text{ Н}\cdot\text{мм}$$

Расчетный изгибающий момент, действующий на фланец в рабочих условиях

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

$$M_P = 2.917 \times 10^7 \text{ Н}\cdot\text{мм}$$

Расчетные напряжения во фланце при затяжке:

меридиональное изгибное напряжение во втулке приварного встык фланца

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

D пр приведенный диаметр фланца

$$D_{пр} := 585 \quad h := 60 \quad S_0 := 85 \quad \text{Ширина фланца, мм}$$

$$\sigma_{0M} := \frac{M_M}{\lambda \cdot (S_0 - c_0)^2 \cdot D_{пр}} = 3.366 \quad \sigma_{0M} = 3.366 \text{ МПа}$$

Напряжение в тарелке приварного встык фланца

радиальное напряжение

$$\sigma_{RМ} := \frac{1.33 \cdot \beta_F \cdot h + l_0}{\lambda \cdot h^2 \cdot l_0 \cdot D} \cdot M_M \quad \sigma_{RМ} = 13.629 \quad \text{МПа}$$

окружное напряжение

$$\sigma_{ТМ} := \frac{\beta_Y \cdot M_M}{h^2 \cdot D} - \beta_Z \cdot \sigma_{RМ} \quad \sigma_{ТМ} = 25.938 \quad \text{МПа}$$

Расчетные напряжения во фланце в рабочих условиях:

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

$$\sigma_{0P} := \frac{M_P}{\lambda \cdot (S_0 - c_0)^2 \cdot D_{пр}} \quad \sigma_{0P} = 5.065 \quad \text{МПа}$$

максимальные меридиональные мембранные напряжения во втулке приварного встык фланца

$$\sigma_{0MP} := \max \left[\frac{Q_d + F + \frac{4M}{D_{сп}}}{\pi(D + S_0) \cdot (S_0 - c_0)}, \frac{Q_d + F - \frac{4M}{D_{сп}}}{\pi(D + S_0) \cdot (S_0 - c_0)} \right]$$

$$\sigma_{0MP} = 1.167 \quad \text{МПа}$$

Напряжения в тарелке приварного встык фланца в рабочих условиях

радиальное напряжение

$$\sigma_{Rp} := \frac{1.33 \cdot \beta_F \cdot h + l_0}{\lambda \cdot h^2 \cdot l_0 \cdot D} \cdot M_P \quad \sigma_{Rp} = 20.508 \quad \text{МПа}$$

окружное напряжение

$$\sigma_{Tp} := \frac{\beta_Y \cdot M_P}{h^2 \cdot D} - \beta_Z \cdot \sigma_{Rp} \quad \sigma_{Tp} = 39.029 \quad \text{МПа}$$

$$\sigma_{20} := 160 \quad \sigma_{20} := 196$$

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"

КТ := 1.3

коэффициент, учитывающий стесненность температурных деформаций

$$Usl_3 := \begin{cases} PR_1 & \text{if } \max(|\sigma_{0M} + \sigma_{RM}|, |\sigma_{0M} + \sigma_{TM}|) > KT \cdot \sigma_{20} \\ PR_2 & \text{if } \max(|\sigma_{0p} - \sigma_{0MP} + \sigma_{Tp}|, |\sigma_{0p} - \sigma_{0MP} + \sigma_{Rp}|, |\sigma_{0p} + \sigma_{0MP}|) > KT \cdot \sigma_d \\ PR_3 & \text{otherwise} \end{cases}$$

Usl_3 = "Условия статической прочности выполняются"

Проверка углов поворота фланцев

Угол поворота приварного встык фланца, плоского фланца

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

$$\Theta = 1.86 \times 10^{-3}$$

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

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

Usl_P = "Условие поворота плоского фланца выполняется"

2.3.6 Расчет укрепления отверстий

Расчет по [11]

Исходные данные:

Внутренний диаметр оболочки	$\underline{D} := 500 \text{ мм}$
Внутреннее давление на цилиндрическую обечайку	$P_{ВН} := 0.1 \text{ МПа}$
Расчётная температура	$t_R := 226 \text{ }^\circ\text{C}$
Длина неукреплённой части оболочки	$\underline{l} := 2700 \text{ мм}$
Исполнительная толщина стенки оболочки	$\underline{s} := 5 \text{ мм}$
Диаметр отверстия	$d1 := 150 \text{ мм}$
Прибавка расчетной толщины стенки	$\underline{c} := 1 \text{ мм}$
Коэффициент прочности сварных швов	$\phi := 1$
Допускаемое напряжение для стали при 20 °С	$\sigma_{д20} = 272.727 \text{ МПа}$

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

Допускаемое напряжение для материала при расчётной температуре:

$$\sigma_d := 163 \text{ МПа}$$

Допускаемое напряжение для стали 09Г2С при нормальных условиях:

$$\sigma_{d20} := \text{Floor}(\sigma_{d20}, 0.5) = 272.5 \text{ МПа}$$

Давление при испытании на прочность:

$$P_{\text{исп}} := 1.25 \cdot P_{\text{вн}} \cdot \frac{\sigma_{d20}}{\sigma_d} = 0.209 \text{ МПа}$$

Расчетные внутренние диаметры укрепляемых элементов определяем согласно с [11]

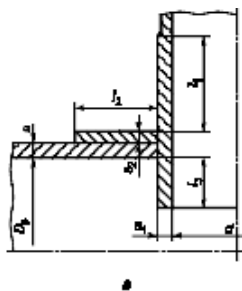


Рисунок №3. Схема укрепления отверстия.

Для штуцера на цилиндрической обечайке

$$D_{p1} := D$$

Расчетные диаметры отверстия :

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

$$d_{p1} = 152$$

Расчетные длины штуцера:

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

$$lp := \sqrt{D_{p1} \cdot (s - c)} \quad lp = 44.721 \text{ мм}$$

Проверка условий применения формул для расчета укрепления отверстий

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

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

$$s_p := 1.371 \quad \text{Расчетная толщина стенки обечайки}$$

Расчетный диаметр одиночного отверстия не требующего укрепления:

$$d_o := 2 \cdot \left(\frac{s - c}{s_p} - 0.8 \right) \cdot \sqrt{D_{p1} \cdot (s - c)} = 189.402 \quad \text{мм}$$

Проверка условий необходимости дальнейшего расчета укреплений отверстий:

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

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

2.3.7 Поверочный расчет теплообменника

2.3.7.1 Расчет толщины трубной решетки

$a := 250 \text{ мм}$	Внутренний радиус кожуха
$a_1 := 184 \text{ мм}$	Расстояние от оси кожуха до оси наиболее удаленной трубы
$i := 138$	Число труб
$d_T := 20 \text{ мм}$	Диаметр трубы
$s_T := 2 \text{ мм}$	Толщина стенки трубы
$s_K := 5 \text{ мм}$	Толщина стенки кожуха
$l := 3000 \text{ мм}$	Длина труб
$d_0 := 20.7 \text{ мм}$	Диаметр отверстия в решетке
$t_p := 26 \text{ мм}$	Шаг отверстия
$E_c := 2.3 \cdot 10^5 \text{ МПа}$	Модуль продольной упругости материала корпуса
$E_{tr} := 2.3 \cdot 10^5 \text{ МПа}$	Модуль продольной упругости материала труб
$E_p := 2.3 \cdot 10^5 \text{ МПа}$	Модуль упругости для материала трубной решетки
$\psi_0 := 0.59$	Коэффициент жесткости перфорированной плиты
$K_q := 1$	

$K_p := 1$	Коэффициенты изменения жесткости системы трубы-
$\underline{h} := 26 \text{ мм}$	Толщина тарелки фланца кожуха
$h_2 := h \text{ мм}$	Толщина тарелки фланца камеры
$E_1 := E_K \text{ МПа}$	модуль продольной упругости материала фланца камеры
$E_2 := E_1 \text{ МПа}$	модуль продольной упругости материала фланца кожуха
$s_1 := s_K \text{ мм}$	Толщина стенки кожуха в месте соединения с фланцем
$s_2 := 5 \text{ мм}$	Толщина стенки камеры в месте соединения с фланцем
$t_k := 100$	Рабочая температура в распределительной камере
$\underline{t}_w := 226$	Рабочая температура в кожухе аппарата
$t_0 := 20$	Температура гидравлических испытаний
$\underline{R}_1 := \frac{565}{2} \text{ мм}$	Радиус фланца, на котором крепится трубная решетка
$\underline{R}_2 := R_1$	
$B_1 := 400 \text{ мм}$	Диаметр трубной решетки
$B_2 := 410 \text{ мм}$	Диаметр прокладки под трубную решетку
$p_T := 0.7 \text{ МПа}$	Рабочее давление в распределительной камере аппарата
$p_M := 0.1 \text{ МПа}$	Рабочее давление в кожухе аппарата
$\alpha_k := 12.6 \cdot 10^{-6}$	$\alpha_{\underline{D}} := 12.6 \cdot 10^{-6}$ $\alpha_{кр} := 12.6 \cdot 10^{-6}$
$\alpha_{\underline{D}} := \alpha_k$	
$\underline{D}_{\underline{D}} := 515 \text{ мм}$	Диаметр болтовой окружности фланца плавающей
головки $E_D := 2.3 \cdot 10^5$	модуль продольной упругости материала
	камеры
$\underline{E}_{20} := 1.99 \cdot 10^5 \text{ МПа}$	модуль продольной упругости материала фланца при
	температуре 20 °С
$E_{кр20} := 1.99 \cdot 10^5 \text{ МПа}$	модуль продольной упругости материала крышки при
	расчетной температуре
$\underline{E} := 1.79 \cdot 10^5 \text{ МПа}$	модуль продольной упругости материала фланца при
	расчетной температуре
$\underline{E}_D := E_K$	
$E_{кр} := E = 1.79 \times 10^5 \text{ МПа}$	модуль продольной упругости материала крышки при
	температуре
$\underline{E}_{\underline{D}} := 2.07 \cdot 10^5 \text{ МПа}$	модуль продольной упругости материала шпильки при
	расчетной температуре

$R_c := 400$ мм радиус кривизны сферической части неотбортованной

$D_{\text{н.к}} := 565$ мм крышки
наружный диаметр фланца

$Y_{\text{фн}} := 0$

$\sigma := 163$ МПа Допускаемое напряжение при расчетной температуре

$P_6 := 6.3 \cdot 10^5$ Н усилие в шпильках плавающей головки

$D := 400$ мм внутренний диаметр фланца

$\alpha_6 := 12 \cdot 10^{-6}$ температурный коэффициент линейного расширения материала
шпильки

Вспомогательные величины

Относительная характеристика беструбного края трубной решетки:

$$m_n := \frac{a}{a_1} \quad m_n = 1.359$$

Коэффициенты влияния давления на трубную решетку вычисляют по формуле:

-со стороны межтрубного пространства

$$\eta_M := 1 - \frac{i \cdot d_T^2}{4 \cdot a_1^2} = 0.592$$

-со стороны трубного пространства

$$\eta_T := 1 - \frac{[i \cdot (d_T - 2s_T)^2]}{4a_1^2} = 0.739$$

Основные характеристики жесткости элементов теплообменного аппарата.

Модуль упругости основания (системы труб) вычисляют по формуле

$$K_y := \frac{E_T \cdot (\eta_T - \eta_M)}{1} = 11.25$$

Приведенное отношение жесткости труб к жесткости кожуха вычисляют по формуле:

$$\rho := \frac{K_y \cdot a_1 \cdot l}{E_K \cdot s_K} = 5.4$$

Коэффициенты изменения жесткости системы трубы — кожух:

$$K_{\text{а.т}} := 1 \quad K_{\text{р.к}} := 1$$

Коэффициент системы решетка - трубы вычисляют по [8] приложение Б-Е

$$\beta := \frac{1.82}{s_p} \cdot \sqrt[4]{\frac{K_y \cdot s_p}{\psi_0 \cdot E_p}} = 0.137$$

$$d_e := d_0 - 2s_T = 16.7$$

$$\psi_e := 1 - \frac{d_e}{t_p} = 0.358$$

Безразмерный параметр системы решетка — трубы вычисляют по формуле

$$\omega := \beta \cdot a_1 = 25.221$$

Определение усилий в элементах теплообменного аппарата.

Приведенное давление p_0 вычисляют по формуле

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

$$m_{cp} := 0.15 \cdot \frac{[i \cdot (d_T - s_T)^2]}{a_1^2} = 0.198$$

Теплообменные аппараты с плавающей головкой

Толщина трубной решетки в зоне перфорации должна отвечать условию:

$$s_p \geq s_{p1} + c_1 \quad p_p := 0.7 \text{ МПа} \quad \sigma_p := 163 \text{ МПа} \quad c_1 := 2 \text{ мм}$$

$$D_{сп} := 467 \text{ мм} \quad \text{средний диаметр прокладки}$$

$$s_{p1} := \frac{D_{сп}}{4.2} \cdot \sqrt{\frac{p_p}{\psi_e \cdot \sigma_p}} = 12.183$$

$$s_{pr} := 20 \text{ мм} \quad \text{Толщина трубной решетки}$$

Толщину второй трубной решетки принимаем равной 20 мм

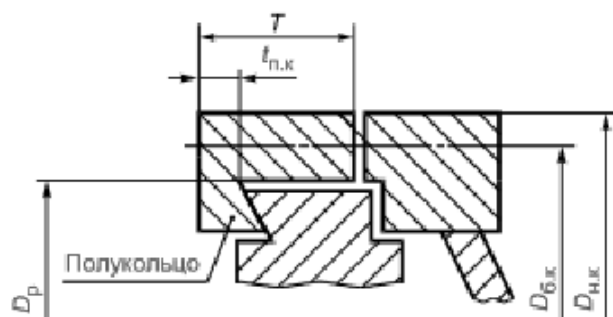


Рисунок №4. Схема узла плавающей головки.

Усилия, действующие на шпильки, и усилие на прокладке. Проверка прочности шпилек и прокладки.

Проверку прочности шпилек и прокладки выполняют по [8]. Усилия, действующие на шпильки плавающей головки при монтаже $P_{бм}$ и в рабочих условиях $P_{бр}$ и равнодействующую внутреннего давления $QД$ определяют по ГОСТ Р 52857.4. При этом коэффициенты жесткости фланцевого соединения α и γ определяют по ГОСТ Р 52857.4, как для соединения фланца с крышкой, угловая податливость фланца (полукольца) u_{ϕ} принимается равной нулю.

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

Из рекомендации в [10] выбираем толщину прокладки 5 мм

Эффективная ширина плоской прокладки, b_0

$$b_{\pi} := 5$$

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

$$b_0 = 5$$

Характеристики прокладки по [10]

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

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

$$q_d := 130 \text{ МПа} \quad \text{Допускаемое удельное давление}$$

$$K_{обж} := 0.9 \quad \text{Коэффициент обжатия}$$

$$E_{\pi} := 2000 \text{ МПа} \quad \text{Условный модуль сжатия прокладки}$$

Усилие, необходимое для смятия прокладки при затяжке

$$D_{сп} := 467$$

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

$$P_{обж} = 7.336 \times 10^4 \text{ Н}$$

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

$$R_{\pi} := 0$$

$$n := 16$$

Площадь поперечного сечений шпилек приложение Д.1 [8]

$$f_{с} := 430 \quad \text{мм}^2$$

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

$$A_6 := n \cdot f_6 = 6.88 \times 10^3$$

Плечо действия усилий в шпильках для приварных встык и плоских фланцев

$$b := 0.5(620 - 571) = 24.5 \text{ мм}$$

Равнодействующая нагрузка от давления

$$Q_{\text{д}} := 0.785 \cdot D_{\text{сп}}^2 \cdot 0.6 = 1.027 \times 10^5$$

Расчетную нагрузку на шпильки фланцевых соединений вычисляют по формулам:
- при затяжке фланцевого соединения

$$M := 2.4 \cdot 10^3 F_1 := 48 \quad \text{момент и внешняя осевая сила}$$

$$y_{\text{ф}} := 0 \quad h_{\text{ш}} := 20$$

Податливость прокладки вычисляют по формуле

$$y_{\text{п}} := \frac{h_{\text{п}} \cdot K_{\text{обж}}}{E_{\text{п}} \cdot \pi \cdot D_{\text{сп}} \cdot b_{\text{п}}} = 1.227 \times 10^{-6}$$

Податливость шпилек

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

$$d := 27 \quad \text{внешний диаметр шпильки, т.к. был выбрана шпилька М27}$$

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

$$L_6 = 125.12$$

$$E_{206} := 2.18 \cdot 10^5$$

$$y_6 := \frac{L_6}{E_{206} \cdot A_6} = 8.342 \times 10^{-8}$$

Угловую податливость фланца со сферической необортованной крышкой вычисляют по формуле

$$S_0 := 5 \text{ мм}$$

$$\lambda_1 := \frac{h}{D} \cdot \sqrt{\frac{R_c}{S_0}} = 0.581$$

$$\omega_1 := \frac{1}{1 + 1.258\lambda_1 + 1.63\lambda_1 \cdot \left(\frac{h}{e}\right)^2 \cdot \log\left(\frac{D_H}{D}\right)} = 0.179$$

$$y_{кр} := \frac{1 - \omega_1 \cdot (1 + 1.258\lambda_1) \cdot \frac{D_H + D}{D_H - D}}{E_{20} \cdot h^3} = 1.153 \times 10^{-9}$$

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

$$\alpha := 1 - \frac{y_{\Pi} - (y_{\Phi} \cdot e + y_{кр} \cdot b) \cdot b}{y_{\Pi} + y_{\delta} + (y_{\Phi} + y_{кр}) \cdot b^2} = 0.733$$

Коэффициент жесткости фланцевого соединения, нагруженного внешним изгибающим моментом

$$\alpha_M := \frac{y_{\delta} + 2 \cdot y_{\Phi H} \cdot b \cdot \left(b + e - \frac{e^2}{D_{сп}}\right)}{y_{\delta} + y_{\Pi} \cdot \left(\frac{D_{\delta,о}}{D_{сп}}\right)^2 + 2 \cdot y_{\Phi H} \cdot b^2} = 0.053$$

$$\gamma := \frac{1}{y_{\Pi} + y_{\delta} \cdot \frac{E_{20\delta}}{E_{\delta}} + \left(y_{\Phi} + \frac{E_{20}}{E} + y_{кр} \cdot \frac{E_{кр20}}{E_{кр}}\right) \cdot b^2} = 1.499 \times 10^{-3}$$

$$t_{\Phi} := 226 \quad t_{кр} := 226 \quad h_{кр} := 5 \quad t_{\delta} := 226$$

$$Q_t := \gamma \cdot \left[\alpha_{\Phi} \cdot h \cdot (t_{\Phi} - 20) + \alpha_{кр} \cdot h_{кр} \cdot (t_{кр} - 20) - \alpha_{\delta} \cdot (h + h_{кр}) \cdot (t_{\delta} - 20) \right] = 5.742 \times 10^{-6}$$

$$P_{\delta 1} := \max \left[\alpha \cdot (Q_d + F_1) + R_{\Pi} + \frac{4 \cdot \alpha_M \cdot M}{D_{сп}}, \alpha \cdot (Q_d + F_1) + R_{\Pi} + \frac{4 \cdot \alpha_M \cdot M}{D_{сп}} - Q_t \right] = 7.531 \times 10^4$$

$$\sigma_{20, \delta} := 230$$

$$P_{\delta 2} := \max(P_{обж}, 0.4 \cdot A_{\delta} \cdot \sigma_{20, \delta}) = 6.33 \times 10^5 \text{ Н}$$

Расчетная нагрузка на шпильки фланцевых соединений при затяжке фланцевого соединения:

$$P_{\sigma_{6M}} := \max(P_{\sigma_{62}}, P_{\sigma_{61}}) = 6.33 \times 10^5$$

Расчетная нагрузка на шпильки фланцевых соединений в рабочих условиях

$$P_{\sigma_{6p}} := P_{\sigma_{6M}} + (1 - \alpha) \cdot (Q_d + F_1) + Q_t + \frac{4 \cdot (1 - \alpha_M) \cdot M}{D_{\text{сп}}} = 6.604 \times 10^5$$

Проверка прочности шпилек и прокладки

Расчетные значения в шпильках

При затяжке:

$$\sigma_{\sigma_{61}} := \frac{P_{\sigma_{6M}}}{A_6} = 92 \text{ МПа}$$

В рабочих условиях

$$\sigma_{\sigma_{62}} := \frac{P_{\sigma_{6p}}}{A_6} = 95.993 \text{ МПа}$$

Допускаемое напряжение для материала шпилек $\sigma_{\sigma_{6\text{д.б}}} := 225 \text{ МПа}$

$$Us1_bolti := \begin{cases} \text{"Условия прочности при затяжке НЕ выполняются"} & \text{if } \sigma_{\sigma_{61}} > \sigma_{\sigma_{6\text{д.б}}} \\ \text{"Условия прочности в рабочих условиях НЕ выполняются"} & \text{if } \sigma_{\sigma_{62}} > \sigma_{\sigma_{6\text{д.б}}} \\ \text{"Условия прочности выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Us1_bolti = "Условия прочности выполняются"

$$q := \frac{\max(P_{\sigma_{6M}}, P_{\sigma_{6p}})}{\pi \cdot D_{\text{сп}} \cdot b_{\text{п}}} = 90.031 \text{ МПа}$$

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

Us1_prokl = "Условия прочности прокладки выполняются"

Расчет фланцевой части и примыкающей к ней отбортовки крышек с эллиптическим днищем, отвечающих условию $h < \sqrt{D \cdot s}$ выполняют по [8], как плоского фланца с прямой втулкой.

Расчет эллиптического днища на внутреннее и наружное давления выполняют по [6] (пункт 6.3).

Отношение наружного диаметра тарелки фланца к внутреннему диаметру

$$K := 1.32$$

$$\beta_U := \frac{K^2 \cdot (1 + 8.55 \cdot \log(K)) - 1}{1.36(K^2 - 1) \cdot (K - 1)} \quad \beta_U = 7.857$$

$$\beta_T := \frac{K^2 \cdot (1 + 8.55 \cdot \log(K)) - 1}{(1.05 + 1.945 \cdot K^2) \cdot (K - 1)} \quad \beta_T = 1.787$$

$$\beta_Y := \frac{1}{K - 1} \left(0.69 + 5.72 \cdot \frac{K^2 \cdot \log(K)}{K^2 - 1} \right) \quad \beta_Y = 7.215$$

$$\beta_Z := \frac{K^2 + 1}{K^2 - 1} \quad \beta_Z = 3.694$$

Коэффициент, учитывающий изгиб тарелки фланца между шпильками

$$C_F := \max \left[1, \sqrt{\frac{\pi \cdot D_{6.0}}{n \cdot \left(2 \cdot d + \frac{6 \cdot h}{m + 0.5} \right)}} \right] = 1$$

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

$$M := \frac{125}{2} \cdot 48 = 3 \times 10^3 \quad \text{Н} \cdot \text{мм} \quad \text{Внешний изгибающий момент примем равным нулю, исходя из условий}$$

приведенная нагрузка, вызванная внешней осевой силой или моментом

$$F := 48 \quad \text{Н}$$

Тогда:

$$Q_{FM} := F + \frac{4 \cdot M}{D_{сп}} = 73.696$$

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

$$\beta_F := 0.91 \quad \beta_V := 0.55 \quad f := 1 \quad l_0 := 94$$

Коэффициент λ

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

$$\lambda = 1.224$$

Расчет фланцев на статическую прочность

Расчетный изгибающий момент, действующий на приварной встык фланец при затяжке

$$M_M := C_F \cdot P_{6M} \cdot b \quad M_M = 1.551 \times 10^7 \quad \text{Н} \cdot \text{мм}$$

Расчетный изгибающий момент, действующий на фланец в рабочих условиях

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

$$M_D = 1.957 \times 10^7 \quad \text{Н} \cdot \text{мм}$$

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

$$D_{пр} := 485 \quad h := 60 \quad S_0 := 85 \quad \text{Ширина фланца, мм}$$

$$\sigma_{0M} := \frac{M_M}{\lambda \cdot (S_0 - c_0)^2 \cdot D_{пр}} = 3.703 \quad \sigma_{0M} = 3.703 \quad \text{МПа}$$

Напряжение в тарелке приварного встык фланца в условиях затяжки

радиальное напряжение

$$\sigma_{RM} := \frac{1.33 \cdot \beta_F \cdot h + l_0}{\lambda \cdot h^2 \cdot l_0 \cdot D} \cdot M_M \quad \sigma_{RM} = 15.597 \quad \text{МПа}$$

окружное напряжение

$$\sigma_{TM} := \frac{\beta_Y \cdot M_M}{h^2 \cdot D} - \beta_Z \cdot \sigma_{RM} \quad \sigma_{TM} = 20.082 \quad \text{МПа}$$

Расчетные напряжения во фланце в рабочих условиях:

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

$$\sigma_{0p} := \frac{M_p}{\lambda \cdot (S_0 - c_0)^2 \cdot D_{пр}} \quad \sigma_{0p} = 4.673 \quad \text{МПа}$$

максимальные меридиональные мембранные напряжения во втулке приварного встык фланца

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

$$\sigma_{0mp} = 0.803 \quad \text{МПа}$$

Напряжения в тарелке приварного встык фланца в рабочих условиях

радиальное напряжение

$$\sigma_{Rp} := \frac{1.33 \cdot \beta_F \cdot h + l_0}{\lambda \cdot h^2 \cdot l_0 \cdot D} \cdot M_p \quad \sigma_{Rp} = 19.685 \quad \text{МПа}$$

окружное напряжение

$$\sigma_{Tp} := \frac{\beta_Y \cdot M_p}{h^2 \cdot D} - \beta_Z \cdot \sigma_{Rp} \quad \sigma_{Tp} = 25.346 \quad \text{МПа}$$

$$\sigma_d := 160 \quad \sigma_{20} := 196$$

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

$$Usl_3 := \begin{cases} PR_1 & \text{if } \max(|\sigma_{0M} + \sigma_{RM}|, |\sigma_{0M} + \sigma_{TM}|) > KT \cdot \sigma_{20} \\ PR_2 & \text{if } \max(|\sigma_{0p} - \sigma_{0mp} + \sigma_{Tp}|, |\sigma_{0p} - \sigma_{0mp} + \sigma_{Rp}|, |\sigma_{0p} + \sigma_{0mp}|) > KT \cdot \sigma_d \\ PR_3 & \text{otherwise} \end{cases}$$

Usl_3 = "Условия статической прочности выполняются"

Проверка углов поворота фланцев

Угол поворота приварного встык фланца, плоского фланца

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

$$\Theta = 0$$

Допустимый угол поворота плоского фланца $\Theta_{\text{д}} := 0.013$

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

Usl_P = "Условие поворота плоского фланца выполняется"

$$D_p := 450$$

Толщину полукольца определяют из условий изгиба по формуле

$$T_1 \geq \sqrt{\frac{P_6 \cdot (D_{6.0} - D_p) \cdot \beta_Y}{2D_p \cdot \sigma}} + T_1 := 47 \text{ мм}$$

Толщину наименьшего сечения полукольца определяют из условий среза по формуле

$$t_{pk} := \max\left(\frac{P_6}{0.8\pi \cdot D_p \cdot \sigma}, 26\right) + c_1 = 28 \text{ мм}$$

2.3.8 Расчет перегородки между ходами по трубному пространству

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

$L_{\text{пер}} := 400 \text{ мм}$ Длина перегородки

$\Delta p := 0.1 \cdot 0.7 = 0.07 \text{ МПа}$ Перепад давлений в трубном пространстве

$\sigma_{\text{II}} := 163 \text{ МПа}$ Допускаемое напряжение для материала перегородки при рабочей температуре

$c := 1 \text{ мм}$ Прибавка к толщине стенки, компенсирующая коррозию

$$f_{\text{II}} := \frac{1}{1 + \frac{B_{\text{пер}}}{L_{\text{пер}}} + \left(\frac{B_{\text{пер}}}{L_{\text{пер}}}\right)^2} = 0.262$$

$$S_{\text{пер}} := 0.71 \cdot B_{\text{пер}} \cdot \sqrt{\frac{\Delta p \cdot f_{\text{II}}}{\sigma_{\text{II}}}} + 2 \cdot c = 5.768 \text{ мм}$$

Принимаем толщину перегородки равной 10 мм

$$S_{\text{пер}} := 10 \text{ мм}$$

2.3.9 Расчет веса аппарата

Исходные данные:

$H_{\text{об}} := 3.9 \text{ м}$	Длина обечайки
$H_{\text{тр}} := 3 \text{ м}$	Длина труб
$H_{\text{об2}} := 0.4 \text{ м}$	Длина распределительной камеры
$D_{\text{в}} := 0.5 \text{ м}$	Внутренний диаметр корпуса
$D_{\text{в1}} := 0.6 \text{ м}$	Внутренний диаметр днища корпуса
$D_{\text{пл}} := 0.4 \text{ м}$	Диаметр крышки плавающей головки камеры
$s := 0.005 \text{ м}$	Толщина стенки корпуса
$s := 0.005 \text{ м}$	Толщина стенки распределительной камеры
$d_{\text{т}} := 0.02 \text{ м}$	Диаметр труб
$s_{\text{тр}} := 0.002 \text{ м}$	Толщина стенки труб
$H_{\text{об3}} := 0.4 \text{ м}$	Длина кожуха в зоне плавающей головки
$D := 0.5 \text{ м}$	Диаметр кожуха в зоне плавающей головки
$\rho_{\text{мет}} := 7800 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$	Плотность стали
$\sigma_{\text{ст}} := 163 \text{ МПа}$	Допускаемое напряжение стали при рабочей температуре
$\sigma_{\text{д20}} = 272.5 \text{ МПа}$	Допускаемое напряжение стали при температуре гидравлических испытаний
$E_{\text{ст}} := 1.8 \cdot 10^5 \text{ МПа}$	Модуль упругости для стали при рабочей температуре
$P := 0.1 \text{ МПа}$	Давление в межтрубном пространстве
$g := 9.8 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$	

Определим вес обечайки:

$$G_{\text{об}} := \pi \cdot (D_{\text{в}} + s) \cdot s \cdot H_{\text{об}} \cdot \rho_{\text{мет}} \cdot g = 2.365 \times 10^3 \text{ Н}$$

Определим вес обечайки распределительной камеры:

$$G_{\text{РК}} := \pi \cdot (D + s) \cdot s \cdot H_{\text{об2}} \cdot \rho_{\text{мет}} \cdot g = 242.545 \text{ Н}$$

Определим вес обечайки в зоне плавающей головки:

$$G_{obk} := \pi \cdot (D + s) \cdot s \cdot H_{ob3} \cdot \rho_{met} \cdot g = 242.545 \quad \text{Н}$$

Площадь днища корпуса:

$$R_{ДН} := \frac{D_{B1}}{2} = 0.3 \text{ м}$$

$$S_{ДН} := \pi \cdot R_{ДН}^2 = 0.283 \quad \text{м}^2$$

Вес днища

$$G_{Д} := S_{ДН} \cdot s \cdot \rho_{met} \cdot g = 108.065 \quad \text{Н}$$

Площадь крышки распределительной камеры:

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

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

Вес крышки:

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

Площадь крышки плавающей головки:

$$R_{КР.пл} := \frac{D_{пл}}{2} = 0.2 \text{ м}$$

$$S_{КР.пл} := \pi \cdot R_{КР.пл}^2 = 0.126 \quad \text{м}^2$$

Вес крышки:

$$G_{КР.пл} := S_{КР.пл} \cdot s \cdot \rho_{met} \cdot g = 48.029 \quad \text{Н}$$

Вес трубы в трубном пространстве

$$G_{ТР} := \pi \cdot (d_{н} + s_{тр}) \cdot s_{тр} \cdot H_{тр} \cdot \rho_{met} \cdot g = 31.699 \quad \text{Н}$$

Вес трубного пучка:

$$G_{Т} := G_{ТР} \cdot 138 = 4.374 \times 10^3 \quad \text{Н} \quad \text{где 138-число труб}$$

Вес опор с подкладным листом:

$$G_{опор} := 360 \quad \text{Н}$$

Тогда вес пустого аппарата:

$$G_{АПП} := G_{Т} + G_{КР.пл} + G_{КР} + G_{Д} + G_{РК} + G_{об} + G_{обк} + G_{опор} = 7.815 \times 10^3 \quad \text{Н}$$

Определим вес аппарата при гидроиспытаниях:

Объемы днищ внутренним диаметром 400, 500 и 600 мм соответственно

$$V_{Д1} := 11.5 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3 \quad V_{Д2} := 21.2 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3 \quad V_{Д3} := 35.2 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$$

$$\rho_V := 1000 \text{ плотность воды} \quad \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

Масса воды при испытаниях

$$m_{\text{ВОД1}} := \pi \cdot \frac{D_B^2}{4} \cdot H_{\text{об1}} \cdot \rho_V + \rho_V \cdot (V_{Д1} + V_{Д2} + V_{Д3}) + \pi \cdot \frac{D^2}{4} \cdot H_{\text{об2}} \cdot \rho_V = 912.203 \text{ кг}$$

$$m_{\text{ВОД2}} := \pi \cdot \frac{D_{B1}^2}{4} \cdot H_{\text{об3}} \cdot \rho_V = 113.097 \text{ кг}$$

$$m_{\text{ВОД.общ}} := m_{\text{ВОД1}} + m_{\text{ВОД2}} = 1.025 \times 10^3 \text{ кг}$$

Вес воды:

$$G_{\text{ВОД}} := m_{\text{ВОД.общ}} \cdot g = 1.005 \times 10^4 \text{ Н}$$

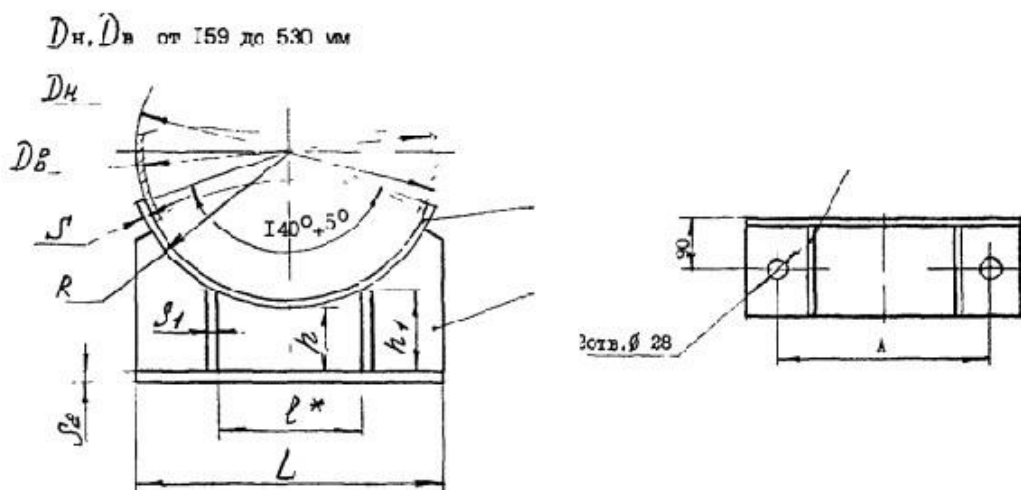
Вес аппарата, заполненного жидкостью в условиях испытаний:

$$G_{\text{АПРЗ}} := G_{\text{АПП}} + G_{\text{ВОД}} = 1.786 \times 10^4 \text{ Н}$$

2.3.10 Подбор и расчёт опоры

Расчет ведем по [12]

Сосуды работающие под внутренним избыточным давлением



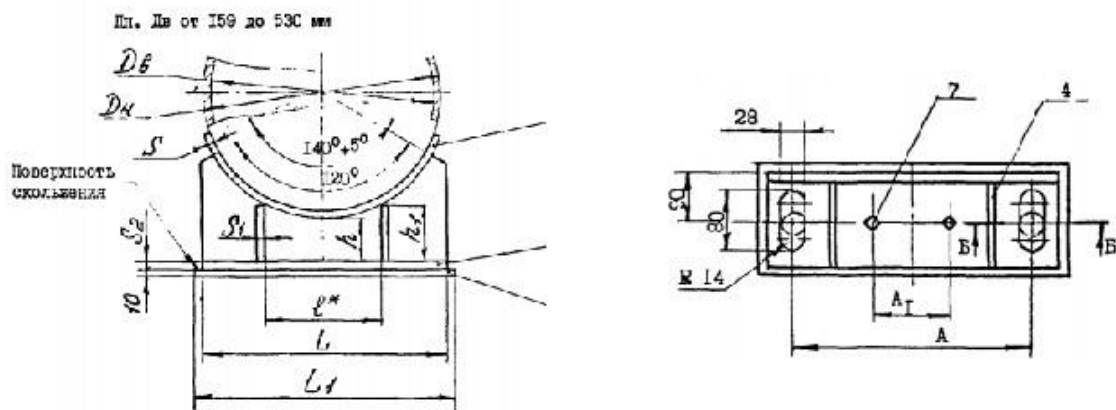


Рисунок №5. Схема седловой опоры.

Аппарат изготовлен из стали 09Г2С

- $\rho := 7800$ кг/м³ плотность материала, кг/м³
- $H := 175$ мм высота выпуклой части днища по внутренней поверхности без учета цилиндрической отбортовки
- $L := 3940$ мм длина цилиндрической части сосуда, включая длину цилиндрической отбортовки днища
- $D := 500$ мм внутренний диаметр цилиндрической обечайки или выпуклого днища
- $p_{rab} := 0.1$ МПа внутреннее избыточное или наружное давление
- $\phi := 1$ коэффициент прочности сварных швов обечайки, расположенных в области опорного узла
- $E := 1.91 \cdot 10^5$ МПа модуль продольной упругости при расчетной температуре
- $b := 260$ мм ширина седловой опоры
- $s_2 := 20$ мм исполнительная толщина подкладного листа
- $b_2 := 220$ мм ширина подкладного листа
- $\sigma_t := 163$ МПа допускаемое напряжение при расчетной температуре
- $\sigma_{\text{тв}} := 240$ МПа предел текучести при расчетной температуре
- $G := 1.6 \cdot 10^4$ Н вес аппарата
- $\sigma_{д20} = 272.5$ МПа допускаемое напряжение при температуре 20 °С

- $a := 1200 \text{ мм}$ длина выступающей цилиндрической части сосуда, включая отбортовку днища
- $e := a + H \text{ мм}$ длина свободновыступающей части эквивалентного сосуда
- $t_{\text{rab}} := 226 \text{ °C}$ рабочая температура в аппарате
- $c := 1 \text{ мм}$ сумма прибавок к расчетной толщине стенки
- $\delta_1 := 120 \cdot \text{deg}$ 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.

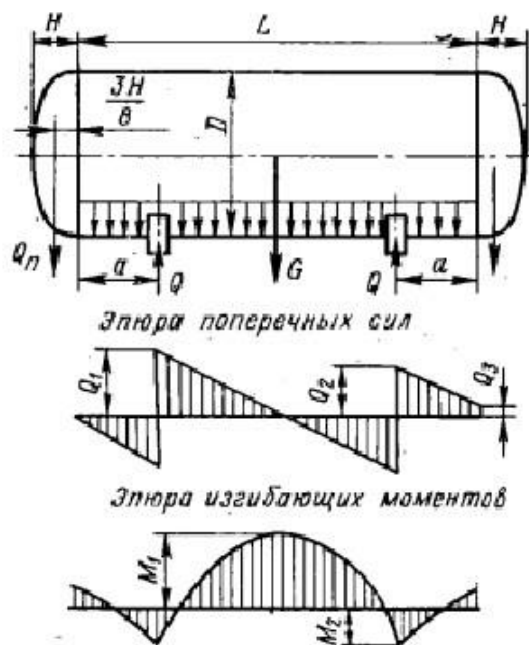


Рисунок №6. Расчетные нагрузки в горизонтальном аппарате, установленном на двух седловых опорах.

Расчётные данные:

Расчётная температура

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

°C

$$t = 226$$

Допускаемое напряжение при расчетной температуре:

Принимаем по [3] при расчётной температуре $t=226^{\circ}\text{C}$

$$\sigma_d := \begin{cases} \text{Floor}(\sigma_t \cdot \phi, 0.5) & \text{if } o = 1 \\ \text{Floor}\left(\frac{\sigma_T}{1.1}, 0.5\right) & \text{if } o = 2 \end{cases}$$
$$\sigma_d = 163 \text{ МПа}$$

Расчётное давление:

$$p := \begin{cases} p_{\text{rab}} & \text{if } o = 1 \\ 1.25 \cdot p_{\text{rab}} \cdot \frac{\sigma_{20}}{\sigma_t} & \text{if } o = 2 \end{cases}$$
$$p = 0.1 \text{ МПа}$$

Исполнительная толщина стенки:

$$s_r := \frac{p \cdot D}{2 \cdot \phi \cdot \sigma_d - p}$$
$$s := \text{floor}(s_r + c + 1)$$
$$s = 2 \text{ мм}$$
$$s := 5$$

Допускаемое наружное давление

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

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

$P_d = 0.12 \quad \text{МПа}$

Нагрузки на корпус аппарата:

$$q := \frac{G}{L + \frac{4 \cdot H}{3}} \quad q = 3.834 \quad \frac{\text{Н}}{\text{мм}}$$

$$M_0 := q \cdot \frac{D^2}{16} \quad M_0 = 5.99 \times 10^4 \quad \text{Н} \cdot \text{мм}$$

Опорное усилие:

$$F_1 := \frac{G}{2} \\
 F_1 = 8 \times 10^3 \quad \text{Н}$$

Момент над опорой:

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

$$M_1 = 3.564 \times 10^6 \quad \text{Н} \cdot \text{мм}$$

Максимальный момент между опорами:

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

$$M_{12} = -2.127 \times 10^6 \quad \text{Н} \cdot \text{мм}$$

Поперечное усилие в сечении оболочки над опорой:

$$Q_1 := \frac{L - 2 \cdot a}{L + \frac{4}{3} \cdot H} \cdot F_1 \quad Q_1 = 2.952 \times 10^3 \quad \text{Н}$$

Проверка несущей способности обечайки в сечении между опорами

Допускаемый изгибающий момент:

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

$$M_d = 1.251 \times 10^8 \quad \text{Н} \cdot \text{мм}$$

Дополнительные вычисления:

K9 - коэффициент, учитывающий частичное заполнение жидкостью

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

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

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

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

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

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

$$K_9 := 1$$

Проверка условия прочности:

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

Проверка1 = "Условие прочности выполняется."

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

Проверка1 = "Условие прочности выполняется."

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

Параметр, определяемый расстоянием до днища:

$$\gamma := 2.83 \cdot \frac{a}{D} \cdot \sqrt{\frac{(s - c)}{D}} \quad \gamma = 0.607$$

Параметр, определяемый шириной пояса опоры:

$$\beta_1 := 0.91 \cdot \frac{b}{\sqrt{D \cdot (s - c)}} \quad \beta_1 = 5.291$$

Общее меридиональное мембранное напряжение изгиба, действующие в области опорного узла

$$\sigma_{mx} := \frac{4 \cdot M_1}{\pi \cdot D^2 \cdot (s - c)} \quad \sigma_{mx} = 4.538 \quad \text{МПа}$$

$$w := \begin{cases} s - c & \text{if } u = 1 \\ b & \text{if } u = 1 \\ b_2 & \text{if } u = 2 \end{cases} \quad \sqrt{1 + \left(\frac{s_2}{s - c}\right)^2} \quad \text{if } u = 2$$

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

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

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

$$\sigma_{ij} = K_1 \cdot K_2 \cdot \sigma_d$$

$$K_2 := \begin{cases} 1.25 & \text{if } o = 1 \\ 1.05 & \text{if } o = 2 \end{cases}$$

$$K_2 = 1.25$$

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

$$K_{16} := 1 - \frac{0.65}{1 + (6 \cdot \gamma)^2} \cdot \sqrt{\frac{\pi}{3 \cdot \delta}} \quad K_{16} = 0.968$$

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

$$K_{17} := \frac{1}{1 + 0.6 \cdot \sqrt[3]{\frac{D}{w} \cdot \frac{b}{D} \cdot \delta}} \quad K_{17} = 0.234$$

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

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

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

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

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

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

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

$$v_{213} := 0$$

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

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

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

$$K_{112} = 1.232$$

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

$$K_{122} = 0.831$$

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

$$K_{113} = 1.246$$

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

$$K_{123} = 0.854$$

$$K_{1,2} := \min(K_{112}, K_{122}) \quad K_{1,2} = 0.831$$

$$K_{1,3} := \min(K_{113}, K_{123}) \quad K_{1,3} = 0.854$$

$$\sigma_{i2} := K_{1.2} \cdot K_2 \cdot \sigma_d \quad \sigma_{i2} = 169.277 \quad \text{МПа}$$

$$\sigma_{i3} := K_{1.3} \cdot K_2 \cdot \sigma_d \quad \sigma_{i3} = 174.057 \quad \text{МПа}$$

$$F_{d2} := \frac{0.7 \cdot \sigma_{i2} \cdot \sqrt{D \cdot w} \cdot (w)}{K_{10} \cdot K_{12}} \quad F_{d2} = 8.638 \times 10^4 \quad \text{Н}$$

$$F_{d3} := \frac{0.9 \cdot \sigma_{i3} \cdot \sqrt{D \cdot w} \cdot (w)}{K_{14} \cdot K_{16} \cdot K_{17}} \quad F_{d3} = 1.948 \times 10^5 \quad \text{Н}$$

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

Проверка условия прочности:

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

$$\text{Проверка3} = \text{"Условие прочности выполняется."}$$

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.

$$F_e := F_1 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot \sqrt{\frac{D}{w}} \cdot K_{13} \cdot K_{15} \quad F_e = 2.433 \times 10^4 \quad \text{Н}$$

Допускаемое поперечное усилие:

$$Q_d := \begin{cases} Q_{dp} \leftarrow 0.25 \cdot \sigma_d \cdot \pi \cdot D \cdot (w) \\ Q_{de} \leftarrow \frac{2.4 \cdot E \cdot (w)^2}{n_y} \cdot \left[0.18 + 3.3 \cdot \frac{D \cdot (w)}{L^2} \right] \\ Q_d \leftarrow \frac{Q_{dp}}{\sqrt{1 + \left(\frac{Q_{dp}}{Q_{de}} \right)^2}} \end{cases} \quad Q_d = 2.322 \times 10^5$$

$$p_v := 0$$

$$\frac{p_v}{p_d} + \frac{M_1}{M_d} + \frac{F_e}{F_{d2}} + \left(\frac{Q_1}{Q_d} \right)^2 = 0.31$$

$$0.31 \leq 1$$

условие устойчивости выполняется

2.4 Гидравлический расчет

Расчет ведем по [5]

Трубное пространство

$\underline{d} := 0.016 \text{ м}$ Внутренний диаметр труб

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

$\underline{Re} := 9000$ Критерий Рейнольдса для жидкости в трубном пространстве

$\underline{\omega}_1 := 0.431 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ Скорость жидкости в трубном пространстве

$\rho_1 := 835 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ Плотность нефти

$\underline{V}_1 := 14 \cdot 10^{-3} \frac{\text{м}^3}{\text{с}}$ Объемный расход нефти

$\underline{l} := 3 \text{ м}$ Длина труб

Так как в трубах режим движения жидкости переходный, считаем коэффициент сопротивления трения по формуле:

$$\underline{\lambda} := \frac{2.7}{Re^{0.53}} = 0.022$$

Гидравлическое сопротивление трубного пространства

$$\Delta P := \left(\lambda \cdot \frac{1}{d} + \xi \right) \cdot \frac{\omega_1^2 \cdot \rho_1}{2} = 896.604 \quad \text{Па}$$

$$\eta := 0.4 \quad \text{КПД насоса}$$

$$N_1 := \frac{V_1 \cdot \Delta P}{\eta} \quad N_1 = 31.381 \quad \text{кВт}$$

Исходя из мощности выбираем насос:

Винтовой насос для перекачки нефти и нефтепродуктов мощностью 100 кВт

Межтрубное пространство

$$d := 0.5 \quad \text{м} \quad \text{Внутренний диаметр корпуса}$$

$$\xi := 27 \quad \text{Коэффициент местного сопротивления для трубного пространства}$$

$$Re := 2300 \quad \text{Критерий Рейнольдса для жидкости в трубном пространстве}$$

$$\omega_1 := 0.083 \quad \frac{\text{м}}{\text{с}} \quad \text{Скорость жидкости в трубном пространстве}$$

$$\rho_1 := 840 \quad \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \quad \text{Плотность нефти}$$

$$V_1 := 1.667 \cdot 10^{-3} \quad \frac{\text{м}^3}{\text{с}} \quad \text{Объемный расход нефти}$$

$$l := 3 \quad \text{м} \quad \text{Длина труб}$$

Так как в трубах режим движения жидкости переходный, считаем коэффициент сопротивления трения по формуле:

$$\lambda := \frac{2.7}{Re^{0.53}} = 0.045$$

Гидравлическое сопротивление межтрубного пространства

$$\Delta P := \left(\lambda \cdot \frac{1}{d} + \xi \right) \cdot \frac{\omega_1^2 \cdot \rho_1}{2} = 78.896 \quad \text{Па}$$

$$\eta := 0.4 \quad \text{КПД насоса}$$

$$N_1 := \frac{V_1 \cdot \Delta P}{\eta} \quad N_1 := 0.329 \text{ кВт}$$

Исходя из мощности выбираем насос:

Винтовой насос для перекачки нефти и нефтепродуктов мощностью 1 кВт

2.5 Расчет строповых устройств

Расчет ведем по [13]

Выбираем витой строп, состоящий из двух ветвей. Так как используем 2 витых стропа, то нагрузка на 1 строп:

$$P := \frac{7.8 \cdot 10^3}{2} = 3.9 \times 10^3 \text{ Н}$$

Расчет витого стропа.

$m_1 := 2$ количество ветвей стропа

$n := 19$ число канатных витков в сечении одной ветви стропа

$$S_1 := \frac{P}{m_1 \cdot n \cdot \cos(30)} = 665.352$$

$k_3 := 5$

Разрывное усилие

$$R_k := S_1 \cdot k_3 = 3.327 \times 10^3 \text{ Н}$$

Подбираем стальной канат

Маркировочная группа 1960 МПа

Канат типа ЛК-РО конструкции 6x36 (1+7+7/7+14)+1 о.с. (ГОСТ 7668-80)

$d_{kan} := 13.5$ диаметр каната, мм

масса 1000 м каната 697 кг

Расчетный диаметр, поперечного сечения витков

$$d_c := 5d_{kan} = 67.5$$

Минимальный диаметр захватного устройства

$k_c := 4$

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

Длина каната

$$l_{kan} := 3500 \text{ мм}$$

$$t_{kan} := 30 \cdot d_{kan} = 405$$

$$L_{kan} := 2.2 \cdot l_{kan} \cdot n + 2t_{kan} = 1.471 \times 10^5 \quad L_{kan} = 150 \quad \text{м}$$

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:

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

где Δt – разность температур поверхности аппарата и окружающего воздуха.

Примем температуру поверхности изоляции $t_{ct} = 40^\circ\text{C}$.

Тогда:

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

Удельный тепловой поток:

$$q = \alpha(t_{ct} - t_0) = 11,14 \cdot (40 - 20) = 222 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$$

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

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

откуда толщина слоя изоляции:

$$\delta = \frac{\lambda}{q}(t_{вн} - t_0) = \frac{0,098}{222}(226 - 20) = 0,09 \text{ м},$$

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

Толщину изоляции следует принять равную 0,1 м.

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 №4. 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 показателей микроклимата помещения	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 электричество	ГОСТ 12.4.124-83

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 [16]

Таблица №5. 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 [17]

Таблица №6. Параметры систем естественного и искусственного освещения на рабочих местах

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

Таблица №7. Допустимые уровни звукового давления и эквивалентного уровня звука [18]

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/м^3 . Другие опасные вещества – диоксиды серы и азота, концентрация которых в производственных помещениях в норме. Фактические значения концентрации и ПДК отображены в таблице 8:

Таблица №8. 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 требуют 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 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 приемках, засыпанных песком; в приемке 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 №9. 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	Заскладировано на полигоны,	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Катионит КУ-2-8 чс (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 склада 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 масел Ж

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 промышленных токсичных отходов г.Томска
Нефтепродукты (ловушечный продукт)	Локальные очистные сооружения нефтесодержащих сточных вод	54600200006033	Жидкость, состав: - нефтепродукты – 100%	1 раз в год	0,92	-	-	На сжигание собственной котельной

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 санэпидстанции ей
--------------------------------	--	---	---	-------------	------	---	---	---

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 территории; - мусор бытовых помещений несортированной; -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 относится 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 $\varnothing 80$ 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 м^3 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 до взрывных 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.

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 №10. 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 за счет постоянных и проверенных поставщиков (пользоваться услугами постоянных поставщиков). 3. Поддержание увеличения спроса и выхода на новые рынки сбыта товара за счет высокого качества 	<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 поставщика и заключение договорных отношений

	продукции.	
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 №11. 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 ($N_{\text{год}}$):

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

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

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 №12. 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	Tэфф	Кпер.	Нсп
Основные рабочие	2	3	1	2	1728	2,52	6
Вспомогательные рабочие	1,67	3	1	3	1728	1,68	9
Итого							15

Таблица №13. 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 №14. 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 №15. 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;

Здоп – дополнительный фонд заработной платы рабочих, тыс. руб.

Основной фонд заработной платы для рабочих повременщиков:

$$\text{Зосн} = \text{Зтар} + \text{Пр} + \text{Дн.вр} + \text{Дпр.дни} + \text{Дбриг},$$

где Зтар – 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:

$$\text{Зтар} = \sum \text{Чсп} \cdot \text{Тст} \cdot \text{Тэф.раб},$$

где Чсп – списочная численность рабочих данного разряда, чел.;

Тсп – 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):

$$\text{ЗДОП} = (\text{ДН} * \text{ЗОСН}) / \text{ТЭФФ},$$

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 №16. 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 №17. 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 №18. 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 отчислениями ;	0,325	19741,15
-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).

$Q_{кр} = 20715,75$ тыс. тонн

Графическим способом:

Графически точка безубыточности определяется согласно рис. 7

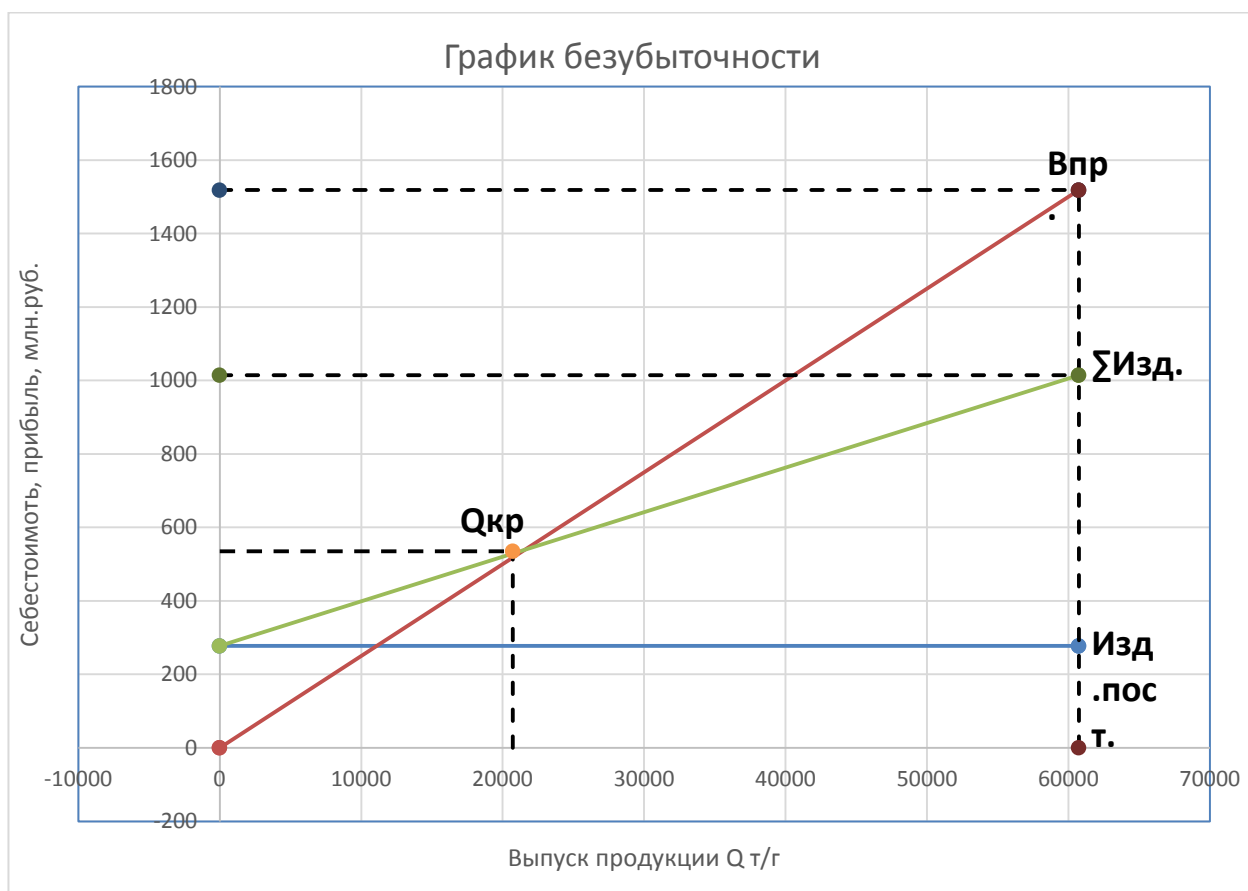


Рисунок №7 – График безубыточности

Таблица №19. 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

Заключение

В результате выполнения бакалаврской работы был проведен тепловой расчет целью, которого является определение поверхности теплообмена. Механический расчет, где была рассчитана прочность корпуса аппарата, а также был произведен расчет на укрепления отверстий, в результате которого выяснили, что укрепление отверстий не требуется, была проведена проверка фланцевых соединений на прочность и герметичность, подобраны и рассчитаны седловые опоры.

Произведен гидравлический расчет данного теплообменника. Рассчитана масса аппарата.

По расчетам был построен чертеж "ФЮРА. УПЛД 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. ГОСТ Р 52857.1-2007. Нормы и методы расчета на прочность. Общие требования. М.: Изд-во стандартов, 2007. — 26 с.
4. . Лацинский А.А. Конструирование сварных химических аппаратов: Справочник. – Спб.: Машиностроение. 1996. – 382 с
- 5.Семакина О.К. Машины и аппараты химических производств. Ч.1. Учеб. Пособие /Том. политехн. ун-т. – Томск, 2003. – 118 с.
6. 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.
7. ГОСТ 14246-79. Теплообменники кожухотрубчатые с плавающей головкой, подбираем стандартный теплообменник типа ТП.
8. 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.
9. ОСТ 26-291-79. Сосуды и аппараты стальные сварные. Общие технические условия
10. ГОСТ 481-80. Паронит и прокладки из него. М.: Изд-во стандартов, 1981.— 17 с.
11. 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.
12. ГОСТ Р 52857.5-2007. Нормы и методы расчета на прочность. Расчет обечаек и днищ от воздействия опорных нагрузок.
13. 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.
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. ГОСТ 19903-74. Прокат листовой горячекатанной. Сортамент.
16. СанПиН 2.2.4.548-96 «Гигиенические требования к микроклимату в производственных помещениях».

17. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 «Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий».
18. 12.1.003-83 (1999) ССБТ. Шум. Общие требования безопасности.