

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			
Проектирование установки подогрева сырой нефти Игольско-Талового месторождения с разработкой теплообменника.			

УДК

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2К22	Гилев Максим Владимирович		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
И.о. зав. кафедрой ОХХТ	Тихонов Виктор Владимирович	К.т.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Сечина Ася Александровна	к.х.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
профессор кафедры ЭБЖ	Ахмеджанов Рафик Равильевич	д.б.н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ОХХТ	Тихонов Виктор Владимирович	К.т.н.		

Планируемые результаты обучения по ООП

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

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС ВПО, критериев и/или заинтересованных сторон
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 (специальность) Машины и аппараты химических производств
Кафедра общей химии и химической технологии

УТВЕРЖДАЮ:
Зав. кафедрой

(Подпись) _____ (Дата) Тихонов В.В.

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврской работы

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

Студенту:

Группа	ФИО
2К22	Гилеву Максиму Владимировичу

Тема работы:

Проектирование установки подогрева сырой нефти Игольско-Талового месторождения с разработкой теплообменника.

Утверждена приказом директора (дата, номер)	<u>23.03.2016 г. № 2270/с</u>
---	-------------------------------

Срок сдачи студентом выполненной работы:	01.06.2016
--	------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Исходные данные у работе
<i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i>	<i>Объект исследования – модернизация кожухотрубчатого теплообменника с целью замены. Теплообменник находится на Игольско-Таловом месторождении, для проектирования ее узлов необходимо не только рассчитать их, но также проверить экономическую эффективность всей работы.</i>

Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i>	Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <i>Провести литературный обзор по аппаратному оформлению с целью выяснения достижений в рассматриваемой области; рассчитать необходимые узлы, выполнить рабочие чертежи, заказать изготовление; осуществить монтаж теплообменника и оценить результат выполненной работы.</i>
Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	Перечень графических работ <i>Технологическая схема – 1 лист , Технология машиностроения – 1 лист, Экономическая эффективность – 1 лист</i>
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i>	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Доцент, кандидат химических наук Сечина Ася Александровна
Социальная ответственность	Профессор кафедры ЭБЖ, кандидат биологических наук Ахмеджанов Рафик Равильевич
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
Реферат	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	08.02.2016
---	------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
И.о. зав. кафедрой ОХХТ	Тихонов Виктор Владимирович	к.т.н		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2К22	Гилев Максим Владимирович		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа «Проектирование установки подогрева сырой нефти Игольско-Талового месторождения с разработкой теплообменника.» с., рис., табл., источников, прил.

Ключевые слова: Штуцера, кожухотрубчатый теплообменник, водонефтяная эмульсия, трубчатая решетка.

Объектом исследования является кожухотрубчатый теплообменник

Цель работы –Модернизировать старый теплообменник; рассчитать новый, который будет превосходить старый по всем показателям. В процессе исследования проводились механические и гидравлические расчеты

В результате исследования были рассчитаны: фланцевые соединения, штуцера, днища, трубчатые решетки, опоры.

Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики: Аппарат диаметром 600 мм, толщина стенки 4 мм, длина 4750 мм, 4 штуцера диаметрами 150 и 100 мм, 257 трубочек.

Степень внедрения: для нагревания водонефтяной эмульсии

Область применения: Нефтяная промышленность

Экономическая эффективность/значимость работы – кожухотрубчатый теплообменник экономически выгоднее пластинчатого, доказательством этого приведены в расчетах.

В будущем планируется представить расчеты на предприятии и ввести теплообменник в эксплуатацию

Report

Final qualifying work "Designing the installation of crude oil heating Igolsko-tall field with the development of the heat exchanger." S. Fig., Tab., Sources, adj.

Keywords: Development of heat transfer equipment to replace existing on-Igolsko Talovskoye field.

The object of the research is shelltube exchanger

Objective - To modernize an old heat exchanger; calculate a new one that will surpass the old in all respects. The study carried out mechanical and hydraulic calculations

The study was designed: flanged joints, fittings, bottoms, tubular lattice support.

Basic design, technological and technical-operational characteristics: Unit 600 mm, wall thickness 4 mm, length 4750 mm, diameter 4 choke 150 and 100 mm, 257 tubes.

Degree of implementation: to heat water emulsion

Applications: Oil industry

Cost-effectiveness / value of the work - shelltube heat exchanger plate is economically profitable, given evidence of this in the calculations.

In the future it is planned to present the calculations in the company and enter the heat exchanger into operation

Оглавление

Введение	10
1. Литературный обзор	11
2.Объекты и методы исследования.....	13
3. Определение основных размеров теплообменника	14
3.1 Определение поверхности теплообменна.....	14
3.1.1 Межтрубное пространство:.....	14
3.1.2 Трубное пространство	15
3.1.3 Определяем тепловую нагрузку аппарата	17
4.Конструктивный расчет теплообменника.....	18
5. Механический расчет теплообменника	20
5.1Определение толщин стенок.....	20
5.2 Расчет толщины стенок цилиндрической обечайки при рабочем давлении и в условиях испытания.....	22
5.3 Расчет эллиптических и полусферических днищ	23
5.4 Определение температурных деформаций.....	24
5.5 Определим температурные усилия в теплообменнике, но уже при установленном компенсаторе.	27
5.6 Расчет толщины трубной решетки	29
5.7 Расчет развальцовочного соединения	31
5.8 Расчет диаметров патрубков для жидкости	32
5.9 Расчет фланцевых соединений	32
5.9.1 Определение расчетных параметров.....	34
5.9.2 Проверка прочности шпилек и прокладки	42
5.9.3Расчет фланцев на статическую прочность.....	43
5.9.4 Проверка углов поворота фланцев.....	46
5.10 Укрепление отверстий	47
5.11 Расчет массы аппарата.....	51
5.12 Расчёт обечайки нагруженной опорными нагрузками от воздействия седловых опор.....	52
6. Гидравлический расчет.....	67
6.1 Расчет для воды	67

6. 2 Для водонефтяной фракции	69
7. Расчет экономической эффективности модернизации кожухотрубчатого теплообменника.	73
8. Техника безопасности и противопожарная техника, охрана окружающей среды и экологии	82
8.1. Производственная безопасность.....	82
8.1.1. Выявление вредных факторов при работе теплообменника.....	83
8.1.2. Выявление опасных факторов при разработке и эксплуатации научного исследования.....	90
8.2. Экологическая безопасность.....	94
8.3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	94
8.3.1. Пожарная и взрывная опасность	94
8.3.2 Описание и характеристики системы оповещения о ЧС	99
Решения по обеспечению беспрепятственной эвакуации людей с территории объекта.....	101
Решения по обеспечению беспрепятственного ввода и передвижения на проектируемом объекте сил и средств ликвидации последствий аварий...	101
Заключение.....	102
Список используемой литературы:	103

Введение

Перенос энергии в форме тепла, происходящий между телами, имеющими различную температуру, называется теплообменом. Движущей силой любого процесса теплообмена является разность температур более нагретого и менее нагретого тел, при наличии которой тепло самопроизвольно, в соответствии со вторым законом термодинамики, переходит от более нагретого тела к менее нагретому телу. Теплообмен между телами представляет собой обмен энергией между молекулами, атомами и свободными электронами; в результате теплообмена интенсивность движения частиц более нагретого тела снижается, а менее нагретого – возрастает.

Тела, участвующие в теплообмене, называются теплоносителями.

Теплопередача - наука о процессах распространения тепла. Законы теплопередачи лежат в основе тепловых процессов - нагревания, охлаждения, конденсации паров, выпаривания - и имеют большое значение для проведения многих массообменных (процессы перегонки, сушки и др.), а также реакционных процессов химической технологии, протекающих с подводом или отводом тепла.

Различают три принципиально различных элементарных способа распространения тепла: теплопроводность, конвекцию и тепловое излучение.

1. Литературный обзор

Теплообменники – это устройства, которые служат для передачи тепла от теплоносителя (горячего вещества), к веществу холодному (нагреваемому). В качестве теплоносителей могут использоваться газ, пары или жидкость. На сегодняшний день наиболее широкое распространение из всех видов теплообменников получили кожухотрубные. Принцип работы кожухотрубчатого теплообменника заключается в том, что горячий и холодный теплоносители движутся по двум различным каналам. Процесс теплообмена происходит между стенками этих каналов.

Кожухотрубные теплообменники относятся к виду рекуперативных. Деление теплообменников на виды производится в зависимости от направления движения теплоносителя. Они бывают:

- перекрестноточными;
- противоточными;
- прямоточными.

Кожухотрубные теплообменники получили такое название потому, что тонкие трубки, по которым движется теплоноситель, находятся в середине основного кожуха. От того, какое количество трубок находится в середине кожуха, зависит то, с какой скоростью будет двигаться вещество. От скорости движения вещества будет зависеть, в свою очередь, коэффициент теплопередачи.

Для изготовления кожухотрубных теплообменников используются легированные и высокопрочные стали. Такие виды сталей используются потому, что данные устройства, как правило, работают в крайне агрессивной среде, которая способна вызывать коррозию. Теплообменники разделяются также на типы. Производят следующие типы данных устройств:

- с температурным кожуховым компенсатором;
- с неподвижными трубками;
- с U-образными трубками;
- с плавающей головкой.

Основным, и наиболее весомым достоинством является высокая стойкость данного типа агрегатов к гидроударам. Большинство производимых сегодня видов теплообменников таким качеством не обладают.

Вторым преимуществом является то, что кожухотрубные агрегаты не нуждаются в чистой среде. Большинство приборов в агрессивных средах работают нестабильно. Например, пластинчатые теплообменники таким свойством не обладают, и способны работать исключительно в чистых средах. Третьим весомым преимуществом кожухотрубных теплообменников является их высокая эффективность.

Несмотря на все плюсы, данные устройства имеют и некоторые недостатки, о которых также стоит упомянуть.

Первый, и наиболее значительный недостаток – большие размеры. В некоторых случаях от использования таких агрегатов приходится отказываться именно из-за крупных габаритов.

Второй недостаток – высокая металлоемкость, которая является причиной высокой цены кожухотрубных теплообменников.

2.Объекты и методы исследования

Необходимо модернизировать старый теплообменник, который расположен на Игольско-Таловом месторождении. Также надо рассчитать все детали на прочность, износостойкость и жесткость, будет ли работать аппарат при рабочих условиях

Для качественной работы необходимы специальные инструменты и измерительные приборы. Для удобства и быстроты выполнения работы расчеты производить в программе MathCad.

После того, как все детали теплообменника будут рассчитаны и спроектированы, необходимо сделать чертеж аппарата.

3. Определение основных размеров теплообменника

$\underline{G} := 167.1$ - производительность

$t := 7$ град - температура смеси на входе

$t_2 := 45$ град - температура смеси на выходе

$P_1 := 0.7$ МПа - давление смеси на входе

$P_2 := 0.15$ МПа - давление смеси на выходе

$\underline{K} := 20 \%$ - максимальная обводненность нефти на входе

$\underline{L} := 10.5 \frac{\text{м}^3}{\text{т}}$ - максимальная газосодержание нефти на входе

$\Pi := 0.03 \frac{\text{м}^3}{\text{с}}$ - расход греющей среды

$P_3 := 0.146$ МПа - давление греющей воды на входе

$P_4 := 0.146$ МПа - давление греющей воды на выходе

$t_3 := 110$ град - температура греющей воды на входе

$t_4 := 70$ град - температура греющей воды на выходе

3.1 Определение поверхности теплообменника

3.1.1 Межтрубное пространство:

Температура

$t_{1H} := 110$ °С - на входе в межтрубное пространство

$t_{1к} := 70 \text{ }^{\circ}\text{C}$ - на выходе из межтрубного пространства

Средняя температура:

$$t_{ср} := \frac{t_{1н} + t_{1к}}{2} = 90 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Объемный расход нефти:

$$V_{н} := 0.03 \frac{\text{м}^3}{\text{с}}$$

3.1.2 Трубное пространство

$t_{2н} := 7 \text{ }^{\circ}\text{C}$ - начальная температура на входе в трубное пространство

$$t_{2к} := 45 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

110 $^{\circ}\text{C}$ 70 $^{\circ}\text{C}$

<-----

межтрубное пространство

7 $^{\circ}\text{C}$ 45 $^{\circ}\text{C}$

----->

трубное пространство

Средняя температура смеси находится в соответствии с формулой 2.5 [5, стр.46]

$$t_{2ср} := \frac{t_{2н} + t_{2к}}{2} = 26 \text{ град}$$

$$\Delta t_{м} := 25 \text{ град}$$

$$\Delta t_{\bar{\theta}} := 103 \quad \text{град}$$

$$\Delta t_{\text{ср}} := \frac{\Delta t_{\bar{\theta}} - \Delta t_{\text{м}}}{2.3 \cdot \log\left(\frac{\Delta t_{\bar{\theta}}}{\Delta t_{\text{м}}}\right)} = 55.152 \quad \text{град}$$

Физико-химические характеристики для нефти и воды:

Для воды находим по табл. XXXIX [1, стр. 537]

Характеристики нефти нам известны

Плотность :

$$\rho_{1\text{H}} := 823 \quad \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \quad \text{плотность нефти}$$

$$\rho_{2\text{H}_2\text{O}} := 951 \quad \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \quad \text{плотность воды}$$

Динамический коэффициент вязкости:

$$\mu_{1\text{H}} := 397 \cdot 10^{-6} \quad \text{Па} \cdot \text{с}$$

$$\mu_{1\text{B}} := 256 \cdot 10^{-6} \quad \text{Па} \cdot \text{с}$$

Коэффициент теплопроводности:

$$\lambda_{1\text{H}} := 0.176 \quad \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$$

$$\lambda_{2\text{B}} := 0.685 \quad \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$$

Теплоемкость:

$$c_{1\text{H}} := 2.39 \quad \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$$

$$c_{2B} := 4.23 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$$

Исходя из заданного объемного расхода определим массовый расход :

$$G_2 := V_H \cdot \rho_{1H} = 24.69 \frac{\text{кг}}{\text{с}}$$

3.1.3 Определяем тепловую нагрузку аппарата [5, стр. 45]:

$$Q_H := G_2 \cdot c_{1H} \cdot 10^3 \cdot (t_{2K} - t_{2H}) = 2.242 \times 10^6 \text{ Вт}$$

Потери:

$$Q_{II} := 0.05 \cdot Q_H = 1.121 \times 10^5 \text{ Вт}$$

Тепловая нагрузка с учетом потерь:

$$Q := Q_H + Q_{II} = 2.354 \times 10^6 \text{ Вт}$$

Отсюда объемный расход воды :

$$V_B := \frac{Q}{c_{2B} \cdot 10^3 \cdot \rho_{2H2O} \cdot (110 - 70)} = 0.015 \frac{\text{м}^3}{\text{с}}$$

Определим ориентировочную поверхность теплообмена:

$$K_{\text{ориент}} := 800 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}} \text{ - ориентировочное значение коэффициента теплопередачи от}$$

жидкости к жидкости [с.47,табл 2.1,5]

$$F_{\text{ор}} := \frac{Q}{K \cdot \Delta t_{\text{ср}}} = 53.363 \text{ м}^2$$

4.Конструктивный расчет теплообменника [с.23,6]

Определим площадь проходного сечения трубок, приняв скорость движения жидкости 2 м/с:

$$\omega := 2 \text{ м/с}$$

$$f := \frac{G_2}{\rho_{1H} \cdot \omega} = 0.015 \text{ м}^2$$

Примем диаметр трубок 25х2:

$$d_B := 0.021 \text{ м}$$

$$d_H := 0.025 \text{ м}$$

Отсюда вычисляем количество трубок:

$$n := \frac{f}{0.785 \cdot d_B^2} = 43.329 \text{ шт}$$

Так как у нас значения коэффициентов теплоотдачи в трубном и межтрубном пространствах примерно равны, то расчетный диаметр, определяемый в зависимости от их значения будет определяться:

$$d_p := 0.5 \cdot (d_B + d_H) = 0.023 \text{ м}$$

Определим расчетную длину одной трубки при одном ходе:

$$L := \frac{F_{op}}{\pi \cdot d_p \cdot n} = 17.044 \text{ м}$$

Принимаем длину трубок 4 метра.

$$L := 4 \text{ м}$$

$$Z := \frac{L}{l} = 4.261$$

Принимаем $Z=4$

$$Z := 4$$

$$n1 := Z \cdot n = 173.318$$

$a := 8$ - число труб, расположенных на стороне наибольшего шестиугольника

$$3a \cdot (a - 1) + 1 = 169 \text{ максимально возможное число труб}$$

Найдем количество труб, расположенных по диагонали наибольшего шестиугольника:

$$b := 2a - 1 = 15$$

Следовательно, число труб, расположенных на большой диагонали шестиугольника, или на диаметре описанной окружности шестиугольника, будет равно:

$$z_d := 2 \cdot b = 30 \text{ шт}$$

$$d_H := 25 \text{ мм}$$

$$d_B := 21 \text{ мм}$$

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

$$t := 0.032 \text{ м}$$

Диаметр теплообменника:

$$D_{BH} := 1.1 \cdot t \cdot \sqrt{\frac{n1}{0.8}} = 0.518 \text{ м}$$

По ГОСТу 15118-79 выбираем кожухотрубчатый теплообменник с $D=0.6$ м, $l=4$ м, $F=65 \text{ м}^2$, $n=257$, четырехходовый.

$$F := 65$$

$$n := 257$$

$$D_{\text{вн}} := 0.6 \text{ м}$$

Высота распределительной камеры принимаем 400 мм

$$h := 0.4 \text{ м}$$

Общая длина теплообменника равна:

$$H := l + h = 4.4 \text{ м}$$

без учета крышек.

Запас поверхности теплообмена:

$$\Delta := 100 - \frac{F_{\text{ор}}}{F} \cdot 100 = 17.904 \text{ \%}, \text{ запас поверхности теплообмена}$$

Запас поверхности хороший, использовать можно следовательно принимаем данный теплообменник для дальнейших расчетов.

5. Механический расчет теплообменника [с.25,6]

5.1 Определение толщин стенок

Расчет толщин стенок аппарата выполняем согласно ГОСТ Р 52857.2-2007.

$$L_{\text{об}} := 1000l = 4 \times 10^3 \text{ мм}$$

$$D := 1000 \cdot D_{\text{вн}} = 600 \text{ мм}$$

$$t := t_2 = 45 \text{ } ^\circ\text{C}, \text{ температура среды}$$

$$P_{\text{см}} := \frac{P_1 + P_2}{2} = 0.425$$

$$P_{\text{см}} = 0.425 \text{ МПа} \quad - \text{давление в трубном пространстве}$$

$$P_{\text{г.в.}} := 0.146 \text{ МПа} \quad - \text{давление в межтрубном пространстве}$$

Допускаемое напряжение стали при рабочей температуре (12х18н10т)

[с.9,прилож А., 8]:

$$\sigma_{t1k} := 180.87 = 180.87 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{t20} := 184 = 184 \text{ МПа}$$

допускаемое напряжение материала при нормальных условиях

$$\eta := 1$$

коэффициент уменьшения номинального допускаемого напряжения [с.12,8]

$$R_{02} := 276 \text{ МПа}$$

предел текучести при 20 градусах[с.14,8]

$$\eta_y := 2.4$$

коэффициент запаса устойчивости для рабочих условий[с.12,8]

$$\eta_t := 1.2$$

коэффициент запаса по пределу текучести для пневматических условий[табл.1,6]

Для условий испытания сосудов из углеродистых, низколегированных, ферритных, аустенитно-ферритных мартенситных сталей и сплавов на железоникелевой основе допускаемое напряжение вычисляют по формуле[с.5,8]:

$$\sigma_{\text{и}} := \frac{R_{02}}{\eta_t} = 230 \text{ МПа}$$

$$D_{\text{н}} := 0.6 \text{ М}$$

Пробное и расчетное давление при испытании при рабочем давлении $p=0.146$ МПа в соответствии с правилами устройства и безопасной эксплуатации сосудов, работающих под давлением (ПБ 03-576-03) для сварных аппаратов:

$$P_{p_{Г.В.}} := p_{Г.В.} + \rho_{H_2O} \cdot 9.81 \cdot D \cdot 10^{-6} = 0.152 \text{ МПа}$$

$$p_{и} := 1.25 \cdot (P_{p_{Г.В.}}) \cdot \frac{\sigma_{t20}}{\sigma_{t1K}} = 0.193 \text{ МПа}$$

5.2 Расчет толщины стенок цилиндрической обечайки при рабочем давлении и в условиях испытания

$$s \geq s_p + c$$

ϕ - коэффициент прочности продольного сварного шва

Так как сварной шов стыковой и выполняется вручную с одной стороны, а длина контролируемого шва составляет 100% от общей длины, то

$$D := 600$$

$$\phi_p := 0.9 \text{ [с.22,8]}$$

$$s_{p1} := \max \left[\frac{p_{и} \cdot D}{2 \cdot \phi_p \cdot \sigma_{и} - p_{и}}, \frac{(P_{p_{Г.В.}}) \cdot D}{2 \cdot \sigma_{t1K} \cdot \phi_p - (P_{p_{Г.В.}})} \right] = 0.28 \text{ мм}$$

$$s_p := \text{ceil}(s_{p1}) = 1 \text{ мм}$$

расчетная толщина стенки

$$c := 3 \text{ мм}$$

прибавка на коррозию и эрозию, минусовые допуски

$$s := s_p + c = 4 \text{ мм}$$

$$Usl := \begin{cases} \text{"Условие применения формул выполняется"} & \text{if } \frac{s - c}{D} < 0.1 \\ \text{"Условия применения формул НЕ выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$Usl = \text{"Условие применения формул выполняется"}$$

Допускаемое внутреннее избыточное давление:

$$p_d := \frac{2 \cdot \sigma_{t1K} \cdot \phi_p \cdot (s - c)}{D + (s - c)}$$

$$p_d = 0.542 \text{ МПа}$$

Проверка на условие прочности

$$U_{sl} := \begin{cases} \text{"Условие прочности выполняется"} & \text{if } (p_{Г.В.}) \leq p_d \\ \text{"Условия прочности НЕ выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$U_{sl} = \text{"Условие прочности выполняется"}$$

5.3 Расчет эллиптических и полусферических днищ [с. 17, 9]

$$\sigma_d := 125.6 \text{ МПа}$$

допускаемое напряжение для 12х18н10т при рабочей температуре

$$H_1 := 0.25 \cdot D = 150 \text{ мм}$$

Радиус кривизны в вершине днища равен:

$$R := \frac{D^2}{4 \cdot H_1} = 600 \text{ мм}$$

$$S_{11} := \frac{P_{Г.В.} \cdot R}{2 \cdot \phi_p \cdot \sigma_d - 0.5 \cdot P_{Г.В.}} = 0.402 \text{ мм}$$

$$S_p := \text{ceil}(S_{11}) = 1$$

$$S_1 := c + S_p = 4$$

Допускаемое внутреннее избыточное давление

$$P_{и} := \frac{2(S_1 - c) \cdot \phi_p \cdot \sigma_d}{R + 0.5 \cdot (S_1 - c)} = 0.376$$

$$U_{sl} := \begin{cases} \text{"Условие применения формул выполняется"} & \text{if } \frac{S_1 - c}{D} < 0.1 \\ \text{"Условия применения формул НЕ выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$U_{sl} = \text{"Условие применения формул выполняется"}$$

$$U_{sl} := \begin{cases} \text{"Условие применения формул выполняется"} & \text{if } 0.2 \leq \frac{H1}{D} \leq 0.5 \\ \text{"Условия применения формул НЕ выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$U_{sl} = \text{"Условие применения формул выполняется"}$

Проверка на условие прочности

$$U_{sl} := \begin{cases} \text{"Условие прочности выполняется"} & \text{if } (p_{г.в.}) \leq P_{и} \\ \text{"Условия прочности НЕ выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$U_{sl} = \text{"Условие прочности выполняется"}$

Так как у нас теплообменник горизонтальный и штуцера устанавливаются сбоку на аппарате, то мы можем использовать одинаковые днища с двух сторон.

5.4 Определение температурных деформаций

$$\sigma_{tlк} = 180.87 \text{ МПа}$$

допускаемое напряжение материала корпуса

$$\sigma_{дк} := 181.75 \text{ МПа}$$

допускаемое напряжение для материала трубок

$$L_{тк} := 10001 = 4 \times 10^3 \text{ мм}$$

длина труб в межтрубном пространстве

$$d_{тк} := 0.025 \text{ м}$$

$$d_{дк} := 0.021 \text{ м}$$

$$D_{н} := 0.608 \text{ м}$$

Наружный диаметр аппарата

$$D := 0.600 \text{ м}$$

$$t_t := \frac{(t_{2H} + t_{1K})}{2}$$

$$t_t = 38.5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

температура стенки труб

$$t_k := 110 \text{ } ^\circ\text{C}$$

температура стенки корпуса

$$x := (20 \ 100)^T$$

$$y := (2.15 \cdot 10^5 \ 2.05 \cdot 10^5)^T$$

$E_t := \text{interp}[x, y, (t_t)] = 2.127 \times 10^5$ - МПа, модуль продольной упругости материала трубок [с.21, прилож. Г, 8]

$$x := (100 \ 150)^T$$

$$y := (2.15 \cdot 10^5 \ 2.05 \cdot 10^5)^T$$

$E_k := \text{interp}(x, y, t_k) = 2.13 \times 10^5$ - МПа, модуль продольной упругости материала корпуса

$\alpha_t := 16.6 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$, коэффициент линейного расширения для материала трубок

$\alpha_k := 16.6 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$, коэффициент линейного расширения для материала трубок

$$F_t := \frac{3.14}{4} \cdot (d_H^2 - d_B^2) \cdot n = 0.037$$

$$F_t = 0.037 \text{ м}^2$$

Площадь поперечного сечения всех труб

$$F_k := \frac{3.14}{4} \cdot (D_H^2 - D^2) = 7.586 \times 10^{-3}$$

$$F_k = 7.586 \times 10^{-3} \text{ м}^2$$

Площадь поперечного сечения корпуса

Найдем температурное усилие в конструкции:

$$Q_t := \frac{(\alpha_k \cdot t_k - \alpha_t \cdot t_t) \cdot E_t \cdot F_t \cdot E_k \cdot F_k}{E_t \cdot F_t + E_k \cdot F_k} = 1.592 \text{ МН}$$

Далее определим температурные напряжения в трубах и корпусе:

$$\sigma_t := \frac{Q_t}{F_t} = 42.888 \text{ МПа}$$

$$\sigma_k := \frac{Q_t}{F_k} = 209.859 \text{ МПа}$$

Удлинение материала:

$$\delta_t := \frac{Q_t \cdot l}{E_t \cdot F_t} = 8.066 \times 10^{-4} \text{ м}$$

$$\delta_k := \frac{(Q_t \cdot l)}{(E_k \cdot F_k)} = 3.941 \times 10^{-3} \text{ м}$$

$$\delta := 1000(\delta_t + \delta_k) = 4.748 \text{ мм}$$

$$U_{sl} := \begin{cases} \text{"Условие прочности выполняется"} & \text{if } \sigma_k \leq \sigma_{tlk} \\ \text{"Условия прочности НЕ выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$U_{sl} = \text{"Условия прочности НЕ выполняются"}$

Так как условие прочности не выполняется, мы должны взять теплообменник типа ТК

5.5 Определим температурные усилия в теплообменнике, но уже при установленном компенсаторе. [с. 1, 12]

Выбираем линзовый компенсатор [табл. 26.2, 11]

$$D_H := 608 \text{ мм}$$

$$D_L := 755 \text{ мм}$$

$$L_K := 71 \text{ мм}$$

$$s = 4 \text{ мм}$$

$$h_K := 147 \text{ мм}$$

$$r := 15$$

$$W := 1$$

Материал для линзового компенсатора выберем такой же, как и для корпуса аппарата-12X18H10T

$E_K = 2.13 \times 10^5$ МПа, модуль продольной упругости материала компенсатора

$p_{и} = 0.193$ МПа, пробное давление в аппарате.

Расчетные формулы применимы, если выполняются следующие соотношения:

$$U_{sl} := \begin{cases} \text{"Условие прочности выполняется"} & \text{if } 3 \leq \frac{D_H}{h_K} \leq 100 \\ \text{"Условия прочности НЕ выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$U_{sl} = \text{"Условие прочности выполняется"}$$

$$U_{sl} := \begin{cases} \text{"Условие прочности выполняется"} & \text{if } 0.1 \leq \frac{r}{h_K} \leq 100 \\ \text{"Условия прочности НЕ выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$U_{sl} = \text{"Условие прочности выполняется"}$$

$$U_{sl} := \begin{cases} \text{"Условие прочности выполняется"} & \text{if } 0.018 \leq \frac{s}{h_k} \leq 0.1 \\ \text{"Условия прочности НЕ выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$U_{sl} = \text{"Условие прочности выполняется"}$

Определение эквивалентных напряжений:

Коэффициенты R_p, R_w, R_{cw} [с.9, 12]

$$R_p := 98.19$$

$$R_w := 103.8$$

$$R_{cw} := 0.735$$

Максимальные эквивалентные напряжения при действии внутреннего давления

σ_{vp}

$$\sigma_{vp} := 10 \cdot (p_i) \cdot R_p = 189.287$$

Максимальные эквивалентные напряжения при осевом перемещении одной волны компенсатора σ_{vw}

$$\sigma_{vw} := \frac{2.4 \cdot 10^{-4} \cdot R_w \cdot (E_k) \cdot W}{h_k} = 36.097$$

Средние окружные напряжения $\sigma_{ит}$

$$\sigma_{ит} := \frac{(D_H + h_k) \cdot L_k \cdot (p_i)}{4 \cdot (s - c) \cdot (1.14 \cdot r + h_k) \cdot \phi_p} = 17.492$$

Определение коэффициента жесткости компенсатора:

$$C_W := 0.15 \cdot 10^{-4} \cdot R_{cw} \cdot (D_H + h_k) \cdot (E_k) = 1.773 \times 10^3$$

Условие прочности

$$U_{sl} := \begin{cases} \text{"Условие прочности выполняется"} & \text{if } \sigma_{ит} \leq (\sigma_{тлк}) \\ \text{"Условия прочности НЕ выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$U_{sl} = \text{"Условие прочности выполняется"}$$

Проверка условия прочности по эквивалентным напряжениям от давления

$$U_{sl} := \begin{cases} \text{"Условие прочности выполняется"} & \text{if } \sigma_{vp} \leq 2 \cdot (\sigma_{тлк}) \\ \text{"Условия прочности НЕ выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$U_{sl} = \text{"Условие прочности выполняется"}$$

$$Q := p_{г.в.} \cdot \frac{3.14}{4} \cdot (D_{л}^2 - n \cdot d_{н}^2) + p_{см} \cdot \left[n \cdot \frac{3.14}{4} \cdot (d_{в})^2 \right] = 6.533 \times 10^4$$

5.6 Расчет толщины трубной решетки

Расчет трубной решетки будем производить по методике главы 25[с.636,11].

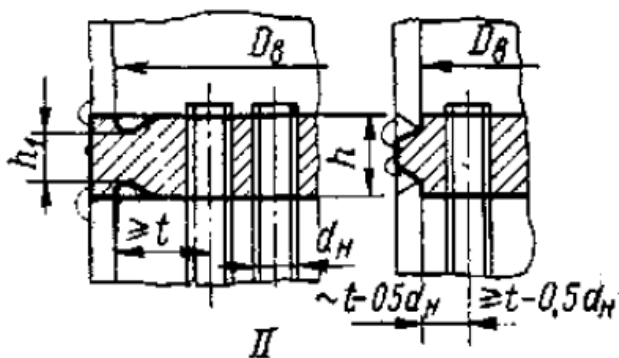
$$N_{общ} := n = 257$$

$$F = 65 \text{ м}^2$$

$$L_t := l = 4 \text{ м}$$

$$D_t := D = 0.6 \text{ м}$$

Согласно параметрам выбранного теплообменника, подбираем параметры трубной решетки. Выбираем трубную решетку ТИПА II.



Размещение труб в трубной решетке выбираем по вершинам равносторонних треугольников для удобства чистки аппарата.

Рисунок 5

$z_d := 9$ - число труб на диаметре

$c := 0.001$ м, прибавка на коррозию

Материал трубной решетки 12х18н10т

Допускаемое напряжение при изгибе при статической нагрузке:

$\sigma_{ид} := 180$ МПа

Определяем номинальную расчетную высоту решетки снаружи, подобрав значения из табл.25.3 [с.637,11]:

$K := 0.28$

$D_B := D_t = 0.6$ м

$p := 1$ МПа

$$h_{1p} := K \cdot D_B \cdot \sqrt{\frac{p}{\sigma_{ид}}} = 0.013 \text{ м}$$

Определяем коэффициент ослабления решетки:

$$\phi_0 := \frac{D_B - z_d \cdot 0.025}{D_B} = 0.625$$

Определяем номинальную расчетную высоту решетки посередине, выбрав значения величин из табл.25.3[с.637,11].

$$K := 0.47$$

$$D_B := D_t = 0.6 \text{ м}$$

$$p := 1 \text{ МПа}$$

$$h_p := K \cdot D_B \cdot \sqrt{\frac{p}{\phi \cdot 0 \cdot \sigma_{\text{ИД}}}} = 0.027 \text{ м}$$

С целью снижения дополнительных напряжений, вызванных действием краевых моментов, выполним утолщение трубной решетки, а также учтем прибавку на коррозию:

$$h_{\text{сн}} := 1.35 \cdot h_{\text{lp}} + c = 0.018 \text{ м}$$

$$h_{\text{сер}} := 1.35 \cdot h_p + c = 0.037 \text{ м}$$

Вследствие того, что трубы к трубной решетке крепятся развальцовкой, то увеличиваем высоту трубной решетки до 38 мм.

$$h_{\text{реш}} := 38 \text{ мм}$$

5.7 Расчет развальцовочного соединения [с. 33, 6]

$$Q := 0.065 \text{ МН}$$

$$q := \frac{Q}{n} = 2.529 \times 10^{-4} \text{ МН}$$

$$f_t := \frac{3.14}{4} \cdot (d_H^2 - d_B^2) = 1.444 \times 10^{-4} \text{ м}^2$$

$$q_t := f_t \cdot \sigma_t = 6.195 \times 10^{-3} \text{ МН}$$

$$q_c := q_t + q = 6.448 \times 10^{-3} \text{ МН}$$

$$\sigma_0 := \frac{q}{3.14 \cdot d_H} = 3.222 \times 10^{-3} \frac{\text{МН}}{\text{м}}$$

$$U_{sl} := \begin{cases} \text{"Условие применения формул выполняется"} & \text{if } \sigma_0 \leq 0.04 \\ \text{"Условия применения формул НЕ выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$U_{sl} = \text{"Условие применения формул выполняется"}$

$$\sigma_c := \frac{q_c}{3.14 \cdot d_H} = 0.082 \frac{\text{МН}}{\text{м}}$$

$$U_{sl} := \begin{cases} \text{"Условие применения формул выполняется"} & \text{if } ((\sigma_c \leq 0.8)) \\ \text{"Условия применения формул НЕ выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$U_{sl} = \text{"Условие применения формул выполняется"}$

5.8 Расчет диаметров патрубков для жидкости

Скорость движения жидкости в патрубках лежит в пределах 0.5-2 м/с

Диаметр патрубка для водонефтяной эмульсии

$$\omega_2 := 2 \text{ м/с}$$

$$d_1 := \sqrt{\frac{4 \cdot V_H}{\pi \cdot \omega_2}} = 0.138 \text{ м}$$

Диаметр патрубка для воды

$$\omega_3 := 2$$

$$d_3 := \sqrt{\frac{4 \cdot V_B}{\pi \cdot \omega_3}} = 0.097 \text{ м}$$

$$d_2 := d_1 = 0.138 \text{ м} - \text{примем } 150$$

$$d_4 := d_3 = 0.097 \text{ м} - \text{примем } 100$$

5.9 Расчет фланцевых соединений

Данные фланца

$$D := 100 \text{ мм}$$

$$h := 38 \text{ мм}$$

$$P := 0.15$$

$$h_{\Pi} := 10 \text{ мм}$$

$$D_H := 205 \text{ мм}$$

$$M := 0 \cdot 10^3$$

$$D_{\text{б}} := 170 \text{ мм}$$

$$S_0 := 8 \text{ мм}$$

$$F := -0 \cdot 10^5$$

$$D_{\text{сп}} := 178 \text{ мм}$$

$$d := 16 \text{ мм}$$

$$c_0 := 4$$

$$b_{\Pi} := 15 \text{ мм}$$

$$n := 4$$

$$t := 110$$

$$S_1 := 22$$

Материал обечаек и фланцев - сталь 12х18н10т

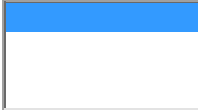
Материал болтов - сталь 35Х

Материал прокладки - паронит ПМБ.

Фланцы плоские

Фланцы с гладкой уплотнительной поверхностью рекомендуется применять для условных давлений среды до 1,6 МПа

Выбор крепежных элементов:

bs := 

bs = 1

5.9.1 Определение расчетных параметров

Расчетные температуры

расчетная температура неизолированных плоских фланцев $t_{\phi} = 0,96 \cdot t$

$$t_{\phi} := 0.96 \cdot t$$

$$t_{\phi} = 105.6$$

расчетная температура болтов

$$t_{\text{б}} := 0.85 \cdot t$$

$$t_{\text{б}} = 93.5$$

Допускаемые напряжения для болтов из стали 35Х

В рабочем состоянии

$$t := \begin{pmatrix} 100 \\ 200 \end{pmatrix}$$

$$\sigma := \begin{pmatrix} 230 \\ 225 \end{pmatrix}$$

$$\sigma_{\text{д.б}} := \text{Floor}(\text{linterp}(t, \sigma, t_{\text{б}}), 0.5)$$

$$\sigma_{\text{д.б}} = 230 \text{ МПа}$$

Модуль упругости для болтов при рабочей температуре

$$E_{\text{б}} := 2.09 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

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

$$\sigma_{206} := 230 \text{ МПа}$$

Модуль упругости для болтов при температуре испытания 20 °С

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

Коэффициент линейного расширения стали 35Х при $t = 20-110$ °С

$$\alpha_6 := 13.4 \cdot 10^{-6} \text{ 1/K}$$

Допускаемые напряжения для фланцев и обечаек стали 12Х18Н10Т

$$t := \begin{pmatrix} 100 \\ 200 \end{pmatrix}$$

$$\sigma := \begin{pmatrix} 105 \\ 98 \end{pmatrix}$$

$$\sigma := \text{Floor}(\text{linterp}(t, \sigma, t_6), 0.5)$$

$$\underline{\sigma} := 125.6 \text{ МПа}$$

Так как фланцы изготавливается из листового проката

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

$$\sigma_{\text{д.ф}} = 125.6 \text{ МПа}$$

Модуль упругости для стали 12Х18Н10Т при рабочей температуре

$$E := 1.9 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

Допускаемое напряжение для стали 12х18н10т при $t = 20$ °С

$$\sigma_{20} := 130.7 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{\text{д}20} := \eta \cdot \sigma_{20}$$

$$\sigma_{\text{д}20} = 130.7$$

Модуль упругости для сталь 12х18н10т при температуре испытания 20 °С

$$E_{20} := 2.05 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

Коэффициент линейного расширения стали 12х18н10т при $t = 20 - 100$ °С

$$\alpha_{\phi} := 16.6 \cdot 10^{-6} \text{ 1/K}$$

Эффективная ширина плоской прокладки

$$b_{\Pi} := 20 \text{ мм}$$

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

$$b_0 = 17 \text{ мм}$$

Характеристики прокладки по таблице 4.6

$$m := 2.5$$

$$q_{\text{обж}} := 20 \text{ МПа}$$

$$q_d := 130 \text{ МПа}$$

$$K_{\text{обж}} := 0.9 \text{ МПа}$$

$$E_{\Pi} := 0.02 \cdot 10^{-5}$$

Усилие, необходимое для смятия прокладки при затяжке,

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

$$P_{\text{обж}} = 1.782 \times 10^3$$

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

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

$$R_{\Pi} = 3.565 \times 10^3 \text{ Н}$$

Площадь поперечного сечений болтов (шпилек) по таблице 4.3

$$f_{\text{б}} := 144 \text{ мм}^2$$

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

$$A_{\text{б}} := n \cdot f_{\text{б}}$$

$$A_{\text{б}} = 576 \text{ мм}^2$$

Равнодействующая нагрузка от давления

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

$$Q_{\text{д}} = 3.733 \times 10^3 \text{ Н}$$

Приведенная нагрузка, вызванная воздействием внешней силы и изгибающего момента,

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

$$Q_{\text{FM}} = 0$$

Податливость прокладки

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

$$y_{\Pi} = 4.024 \times 10^3 \text{ мм/Н}$$

Расстояние между опорными поверхностями гайки и головки болта или опорными поверхностями гаек

$$L_{60} := 50 \text{ мм}$$

Эффективная длина болта (шпильки) при определении податливости

$$L_6 := \begin{cases} L_{60} + 0.28 \cdot d & \text{if } bs = 1 \\ L_{60} + 0.56 \cdot d & \text{if } bs = 2 \end{cases}$$

$$L_6 = 54.48 \text{ мм}$$

Податливость болтов

$$y_6 := \frac{L_6}{E_{206} \cdot A_6}$$

$$y_6 = 4.339 \times 10^{-7} \text{ мм/Н}$$

Расчетные параметры фланцев:

- параметр длины обечайки

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

$$l_0 = 28.284 \text{ мм}$$

- отношение наружного диаметра тарелки фланца к внутреннему диаметру

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

$$K = 2.05$$

- коэффициенты, зависящие от соотношения размеров тарелки фланца,

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

$$\beta_T = 1.487$$

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

$$\beta_U = 3.15$$

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

$$\beta_Y = 2.886$$

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

$$\beta_Z = 1.625$$

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

$$\beta_F := 0.91$$

$$\beta_V := 0.55$$

$f_{\text{mm}} := 1$ - коэффициент

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

Угловая податливость фланцев:

Угловая податливость фланца при затяжке

$$y_\Phi := \frac{0.91 \cdot \beta_V}{E_{20} \cdot \lambda \cdot l_0 \cdot (S_1)^2}$$

$$y_\Phi = 2.628 \times 10^{-11}$$

Угловая податливость фланца, нагруженного внешним изгибающим моментом,

$$y_{\Phi H} := \left(\frac{\pi}{4} \right)^3 \cdot \frac{D_0}{E_{20} \cdot h^3 \cdot D_H}$$

$$y_{\phi H} = 3.572 \times 10^{-11}$$

Коэффициент, учитывающий изгиб тарелки фланца между шпильками (болтами),

$$C_F := \max \left[1, \sqrt{\frac{\pi \cdot D_6}{n \cdot \left(2 \cdot d + \frac{6 \cdot h}{m + 0.5} \right)}} \right]$$

$$C_F = 1.112$$

Приведенный диаметр плоского фланца

$$D_{пр} := D$$

Плечо действия усилий в болтах (шпильках) для приварных встык и плоских фланцев

$$b := 0.5 \cdot (D_6 - D_{сп})$$

$$b = -4$$

Плечо усилия от действия давления на фланец для всех типов фланцев

$$e := 0.5 \cdot (D_{сп} - D - S_0)$$

$$e = 35$$

Эквивалентная толщина плоских фланцев

$$S_э := S_0$$

Коэффициент жесткости фланцевого соединения для приварных встык и плоских фланцев

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

$$\gamma = 2.485 \times 10^{-4}$$

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

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

$$\alpha = 1.062 \times 10^{-10}$$

Коэффициент жесткости фланцевого соединения, нагруженного внешним изгибающим моментом

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

$$\alpha_M = 1.163 \times 10^{-10}$$

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

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

$$Q_t = 8.237 \times 10^{-6}$$

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

$$P_{\delta 1} := \max \left[\begin{array}{l} \alpha \cdot (Q_d + F) + R_{\Pi} + \frac{4 \cdot \alpha_M \cdot |M|}{D_{\text{сп}}} \\ \alpha \cdot (Q_d + F) + R_{\Pi} + \frac{4 \cdot \alpha_M \cdot |M|}{D_{\text{сп}}} - Q_t \end{array} \right]$$

$$P_{\delta 1} = 3.565 \times 10^3 \text{ Н}$$

Расчетная нагрузка на болты (шпильки) при затяжке, необходимая для обеспечения обжатия прокладки и минимального начального натяжения болтов (шпилек)

$$P_{\text{б}2} := \max(P_{\text{обж}}, 0.4 \cdot A_{\text{б}} \cdot \sigma_{20\text{б}})$$

$$P_{\text{обж}} = 1.782 \times 10^3 \text{ Н}$$

$$P_{\text{б}2} = 5.299 \times 10^4 \text{ Н}$$

Расчетная нагрузка на болты (шпильки) фланцевых соединений при затяжке фланцевого соединения:

$$P_{\text{б}м} := \max(P_{\text{б}1}, P_{\text{б}2})$$

$$P_{\text{б}м} = 5.299 \times 10^4 \text{ Н}$$

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

$$P_{\text{б}р} := P_{\text{б}м} + (1 - \alpha) \cdot (Q_{\text{д}} + F) + Q_{\text{т}} + \frac{4 \cdot (1 - \alpha_{\text{М}}) \cdot |M|}{D_{\text{сп}}}$$

$$P_{\text{б}р} = 5.672 \times 10^4 \text{ Н}$$

5.9.2 Проверка прочности шпилек и прокладки

Расчетные напряжения в болтах (шпильках)

- при затяжке

$$\sigma_{\text{б}1} := \frac{P_{\text{б}м}}{A_{\text{б}}}$$

$$\sigma_{\text{б}1} = 92 \text{ МПа}$$

- в рабочих условиях

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

$$\sigma_{62} = 98.48 \text{ МПа}$$

Проверка условий прочности болтов (шпилек) при затяжке и в рабочих условиях

$$Usl_1 := \begin{cases} \text{"Условия прочности в при затяжке НЕ выполняются"} & \text{if } \sigma_{61} > \sigma_{206} \\ \text{"Условия прочности в рабочих условиях НЕ выполняются"} & \text{if } \sigma_{62} > \sigma_{д.6} \\ \text{"Условия прочности выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$Usl_1 = \text{"Условия прочности выполняются"}$$

$$\sigma_{61} = 92 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{206} = 230 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{62} = 98.48 \text{ МПа}$$

Удельное давление на прокладку

$$q := \frac{\max(P_{6m}, P_{6p})}{\pi \cdot D_{сп} \cdot b_{п}}$$

$$q = 5.072 \text{ МПа}$$

Условие прочности прокладки (проверяется для мягких прокладок)

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

$$Usl_2 = \text{"Условие прочности прокладки выполняется"}$$

$$q = 5.072 \text{ МПа}$$

$$q_d = 130 \text{ МПа}$$

5.9.3 Расчет фланцев на статическую прочность

Расчетный изгибающий момент, действующий на приварной встык фланца или плоский фланец при затяжке,

$$M_M := C_F \cdot P_{\bar{\sigma}_M} \cdot b$$

$$M_M = -2.357 \times 10^5 \text{ Н*мм}$$

Расчетный изгибающий момент, действующий на фланец в рабочих условиях

$$M_p := C_F \cdot \max \left[P_{\bar{\sigma}_p} \cdot b + (Q_d + Q_{FM}) \cdot e, |Q_d + Q_{FM}| \cdot e \right]$$

$$M_p = 1.453 \times 10^5 \text{ Н*мм}$$

Расчетные напряжения во фланце при затяжке:

- меридиональное изгибное напряжение во втулке приварного встык фланца, обечайке плоского фланца

$$\sigma_{0M} := \frac{M_M}{\lambda \cdot (S1 - c_o)^2 \cdot D_{пр}}$$

$$\sigma_{0M} = -1.072 \text{ МПа}$$

- напряжения в тарелке приварного встык фланца или плоского фланца в условиях затяжки:

- радиальное напряжение

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

$$\sigma_{RM} = -0.631 \text{ МПа}$$

- окружное напряжение

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

$$\sigma_{TM} = -3.684 \text{ МПа}$$

Расчетные напряжения во фланце в рабочих условиях:

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

$$\sigma_{0p} := \frac{M_p}{\lambda \cdot (S1 - c_o)^2 \cdot D_{пр}}$$

$$\sigma_{0p} = 0.661$$

Максимальные меридиональные мембранные напряжения в обечайке плоского фланца

$$\sigma_{0mp} := \max \left[\frac{Q_d + F + \frac{4|M|}{D_{сп}}}{\pi \cdot (D + S1) \cdot (S1 - c_o)}, \frac{Q_d + F - \frac{4|M|}{D_{сп}}}{\pi \cdot (D + S1) \cdot (S1 - c_o)} \right]$$

$$\sigma_{0mp} = 0.541 \text{ МПа}$$

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

- радиальное напряжение

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

$$\sigma_{Rp} = 0.389 \text{ МПа}$$

- окружное напряжение

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

$$\sigma_{Tp} = 2.271 \text{ МПа}$$

Проверка условий статической прочности фланцев

$$\sigma_{Pmax} := \max \left(\left(\left| \sigma_{0p} - \sigma_{0mp} + \sigma_{Tp} \right| \right), \left(\left| \sigma_{0p} - \sigma_{0mp} + \sigma_{Rp} \right| \right), \left(\left| \sigma_{0p} + \sigma_{0mp} \right| \right) \right)$$

$$\sigma_{3max} := \max \left(\left| \sigma_{0M} + \sigma_{RM} \right|, \left| \sigma_{0M} + \sigma_{TM} \right| \right)$$

PR_1 := "Условия статической прочности при затяжке и в рабочих условиях выполняются"

PR_3 := "Условия статической прочности НЕ выполняются"

$K_T = 1.3$ при расчете с учетом стесненности температурных деформаций. При расчете без учета стесненности температурных деформаций $K_T = 1$.

$$K_T := 1$$

$$Usl_3 := \begin{cases} PR_1 & \text{if } \sigma_{3max} < K_T \cdot \sigma_{20} \wedge \sigma_{Pmax} < K_T \cdot \sigma_{д.ф} \\ PR_3 & \text{otherwise} \end{cases}$$

Usl_3 = "Условия статической прочности при затяжке и в рабочих условиях выполняются"

$$\sigma_{3max} = 4.756 \text{ МПа}$$

$$K_T \cdot \sigma_{20} = 130.7 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{Pmax} = 2.39 \text{ МПа}$$

$$K_T \cdot \sigma_{д.ф} = 125.6 \text{ МПа}$$

5.9.4 Проверка углов поворота фланцев

Угол поворота приварного встык фланца, плоского фланца

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

$$\Theta = 4.118 \times 10^{-6}$$

Допустимый угол поворота плоского фланца

$$\Theta_{д} := 0.013$$

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

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

5.10 Укрепление отверстий

Расчёт укрепления отверстий

$$D_{\text{к}} := 600 \text{ мм}$$

$$d_{\text{щ.ввод.куб}} := 100 \text{ мм}$$

$$Pr_{\text{Г.В.}} = 0.152 \text{ МПа}$$

$$t_{\text{СТ}} := 110$$

$$s_{\text{расч.}} := 10 \text{ мм}$$

$$x_{\text{р}} := 15 \text{ мм}$$

$$H_{\text{д}} := 0.25 \cdot D_{\text{к}} = 150 \text{ мм}$$

$$\sigma_{\text{доп.}} := 143 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{\text{доп.к}} := \sigma_{\text{доп.}}$$

$$\sigma_{\text{доп.внеш.щ}} := \sigma_{\text{доп.}}$$

$$\sigma_{\text{доп.вн.щ}} := \sigma_{\text{доп.}}$$

$$l_1 := 300 \text{ мм}$$

$$l_2 := 100 \text{ мм}$$

$$l_3 := 15 \text{ мм}$$

$$s_{\text{расч.к}} := 10 \text{ мм}$$

$$c := 3 \text{ мм}$$

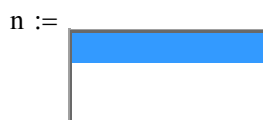
$$\varphi := 1$$

$$s_1 := s_{\text{расч.}}$$

$$s_2 := s_{\text{расч.}}$$

$$s_3 := s_{\text{расч.}}$$

Расчёт типа оболочки:



$$n = 1$$

$$\text{Тип} := \begin{cases} \text{"Цилиндрическая оболочка"} & \text{if } n = 1 \\ \text{"Эллиптическая"} & \text{if } n = 2 \end{cases}$$

Расчётный диаметр оболочки:

$$D_p := \begin{cases} D_p \leftarrow D_k & \text{if } n = 1 \\ D_p \leftarrow \frac{D_k^2}{2 \cdot H_d} \cdot \sqrt{1 - 4 \cdot \frac{D_k^2 - 4 \cdot H_d^2}{D_k^4} \cdot x_p^2} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Тип = "Цилиндрическая оболочка"

$$D_p = 600 \text{ мм}$$

Расчётный диаметр отверстия в стенке обечайки:

$$d_p := \begin{cases} d_p \leftarrow d_{\text{ш.ввод.куб}} + 2 \cdot c & \text{if } n = 1 \\ d_p \leftarrow \frac{d_{\text{ш.ввод.куб}} + 2 \cdot c}{\sqrt{1 - \left(\frac{2 \cdot x_p}{D_p}\right)^2}} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$d_p = 106 \text{ мм}$$

Проверка условий применения формул для расчёта укрепления отверстий:

```

Usl3 := if n = 1
|
|   "Отношение диаметров НЕ выполнется" if  $\frac{d_p - 2 \cdot c}{D_K} > 1.0$ 
|
|   "Отношение толщины к диаметру НЕ выполняется" if  $\frac{s_{расч.} - c}{D_K} > 0.1$ 
|
|   "Условие применения формул выполняется" otherwise
|
| if n = 2
|
|   "Отношение диаметров НЕ выполнется" if  $\frac{d_p - 2 \cdot c}{D_K} > 0.6$ 
|
|   "Отношение толщины к диаметру НЕ выполняется" if  $\frac{s_{расч.} - c}{D_K} > 0.1$ 
|
|   "Условие применения формул выполняется" otherwise

```

Tip = "Цилиндрическая оболочка"

Usl₃ = "Условие применения формул выполняется"

Расчётная толщина стенки штуцера:

$$s_{p.c} := \begin{cases} s_{p.c} \leftarrow \frac{P_{p_{Г.В.}} \cdot D_p}{2 \cdot \varphi \cdot \sigma_{доп.} - P_{p_{Г.В.}}} & \text{if } n = 1 \\ s_{p.c} \leftarrow \frac{P_{p_{Г.В.}} \cdot D_p}{4 \cdot \varphi \cdot \sigma_{доп.} - P_{p_{Г.В.}}} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$s_{p.c} = 0.318 \text{ мм}$$

Расчётная толщина стенки штуцера

$$s_{p.щ} := \frac{P_{p_{Г.В.}} \cdot (d_{щ.ввод.куб} + 2 \cdot c)}{2 \cdot \varphi \cdot \sigma_{доп.к} - P_{p_{Г.В.}}} = 0.056 \text{ мм}$$

Расчётные длины штуцеров:

$$l_{1p} := \min \left[l_1, \sqrt{(d_{щ.ввод.куб} + 2 \cdot c) \cdot (s_1 - c)} \right] = 27.24 \text{ мм}$$

$$l_{3p} := \min \left[l_3, 0.5 \sqrt{(d_{щ.ввод.куб} + 2 \cdot c) \cdot (s_2 - 2c)} \right] = 10.296 \text{ мм}$$

Расчётная ширина накладного кольца:

$$l_{2p} := \min \left[l_2, \sqrt{D_p \cdot (s_3 + s_{\text{расч.}} - 2c)} \right] = 91.652 \text{ мм}$$

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

$$l_p := \sqrt{D_p \cdot (s_{\text{расч.}} - c)} = 64.807 \text{ мм}$$

Отношение допускаемых напряжений:

для внешней части штуцера

$$\chi_1 := \min \left(1, \frac{\sigma_{\text{доп.внеш.шт}}}{\sigma_{\text{доп.}}} \right) = 1$$

для накладного кольца

$$\chi_2 := \min \left(1, \frac{\sigma_{\text{доп.к}}}{\sigma_{\text{доп.}}} \right) = 1$$

для внутренней части штуцера

$$\chi_3 := \min \left(1, \frac{\sigma_{\text{доп.вн.шт}}}{\sigma_{\text{доп.}}} \right) = 1$$

Расчётный диаметр одиночного отверстия, не требующий дополнительного укрепления:

$$d_{\text{ор}} := 0.4 \cdot \sqrt{D_p \cdot (s_{\text{расч.}} - c)} = 25.923 \text{ мм}$$

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

$$d_o := 2 \cdot \left[\frac{(s_{\text{расч.}} - c)}{s_{p.c}} - 0.8 \right] \cdot \sqrt{D_p \cdot (s_{\text{расч.}} - c)} = 2.748 \times 10^3 \text{ мм}$$

Проверка необходимости укрепления отверстия:

$$\text{Prov}_1 := \begin{cases} \text{"Необходимо укрепление отверстия"} & \text{if } d_o < d_{\text{щ.ввод.куб}} \\ \text{"Укрепление отверстия не требуется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Tip = "Цилиндрическая оболочка"

Prov₁ = "Укрепление отверстия не требуется"

Проверка условия укрепления одиночного отверстия:

$$A_1 := l_{1p} \cdot (s_1 - s_{p.\text{щ}} - c) \cdot \chi_1 = 189.146 \text{ мм}^2$$

$$A_2 := l_{2p} \cdot s_2 \cdot \chi_2 = 916.515 \text{ мм}^2$$

$$A_3 := l_{3p} \cdot (s_3 - c) \cdot \chi_3 = 72.069 \text{ мм}^2$$

$$A_{p.c} := l_p \cdot (s_{\text{расч.}} - s_{p.c} - c) = 433.03 \text{ мм}^2$$

$$A_p := 0.5 \cdot (d_p - d_{op}) \cdot s_{p.c} = 12.74 \text{ мм}^2$$

$$\text{Sum} := A_1 \cdot \chi_1 + A_2 \cdot \chi_2 + A_3 \cdot \chi_3 + A_{p.c} = 1.611 \times 10^3 \text{ мм}^2$$

$$\text{Prov}_2 := \begin{cases} \text{"Условие укрепления отверстия выполняется"} & \text{if } \text{Sum} \geq A_p \\ \text{"Условие укрепления отверстия НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Tip = "Цилиндрическая оболочка"

Prov₂ = "Условие укрепления отверстия выполняется"

5.11 Расчет массы аппарата

$$D_{\text{мм}} := 0.6$$

$$s_1 := 0.004$$

$$l_{\text{мм}} := 4$$

$$\rho_1 := 7.9 \times 10^3$$

Масса обечайки:

$$m1 := \frac{3.14}{4} \cdot (0.608^2 - 0.600^2) \cdot 4.7 \cdot \rho_1 = 281.677 \text{ кг}$$

Масса днища

$$m2 := 13.9 \text{ кг}$$

по ГОСТ 6533-68 табл. 16,1

$$m2 := m2 \cdot 2 = 27.8 \text{ кг}$$

Масса трубок:

$$m3 := \frac{3.14}{4} \cdot (0.025^2 - 0.021^2) \cdot 4 \cdot \rho_1 \cdot 206 = 940.247 \text{ кг}$$

$$M_{об} := m1 + m2 + m3 = 1.25 \times 10^3 \text{ кг}$$

масса днищ, трубок и патрубков

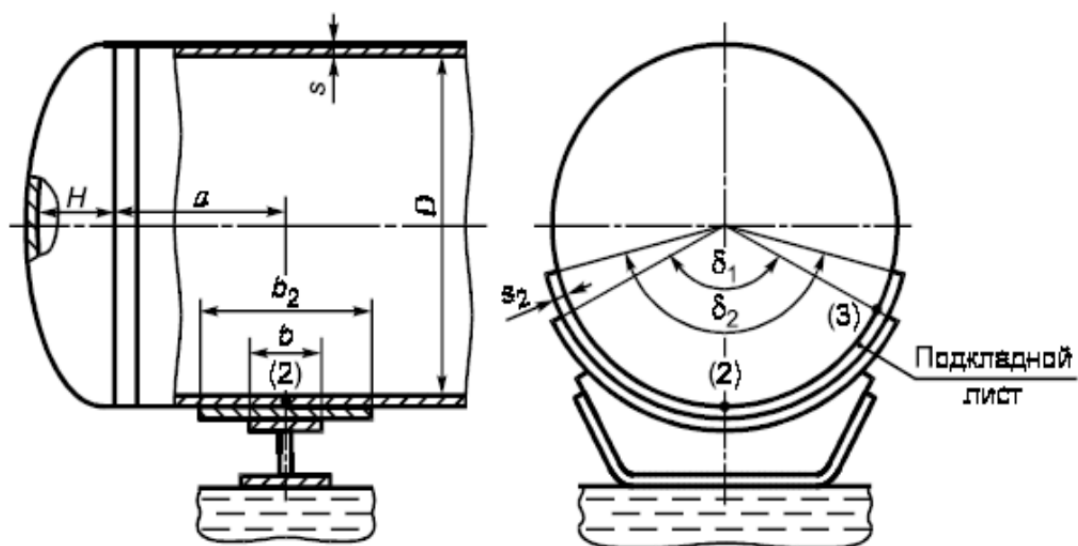
Массу остальных арматур берем 25 % от всей массы

$$M_{ост} := \frac{M_{об} \cdot 25}{100} = 312.431 \text{ кг}$$

$$M_{вс} := M_{ост} + M_{об} = 1.562 \times 10^3 \text{ кг}$$

5.12 Расчёт обечайки нагруженной опорными нагрузками от воздействия седловых опор

Сосуды работающие под внутренним избыточным давлением



Исходные данные:

Аппарат изготовлен из стали 12х18н10т

$$\rho := 7.9 \cdot 10^3$$

плотность материала, кг/м³

$$H := H1 = 150$$

высота выпуклой части днища по внутренней поверхности без учета цилиндрической отбортовки, мм;

$$L := 4000$$

длина цилиндрической части сосуда, включая длину цилиндрической отбортовки днища, мм;

$$D := 600$$

внутренний диаметр цилиндрической обечайки или выпуклого днища, мм;

$$P_{rab} := 0.6$$

внутреннее избыточное или наружное давление, МПа

$$\phi := 1$$

коэффициент прочности сварных швов обечайки, расположенных в области опорного узла;

$$E := 1.99 \cdot 10^5$$

модуль продольной упругости при расчетной температуре, МПа

$$b := 300$$

ширина седловой опоры, мм;

$$s_2 := 12$$

исполнительная толщина подкладного листа, мм;

$$b_2 := 400$$

ширина подкладного листа, мм;

$$\sigma_{\text{тв}} := 160$$

допускаемое напряжение при расчетной температуре, МПа;

$$\sigma_T := 240$$

предел текучести при расчетной температуре, МПа;

$$\sigma_{20} := 180$$

допускаемое напряжение при температуре 20 °С, МПа;

$$a := 1500$$

длина выступающей цилиндрической части сосуда, включая отбортовку днища, мм;

$$e := a + H$$

длина свободно выступающей части эквивалентного сосуда, мм;

$$t_{\text{rab}} := 100$$

рабочая температура в аппарате, °C;

$$c_m := 1.5$$

сумма прибавок к расчетной толщине стенки, мм;

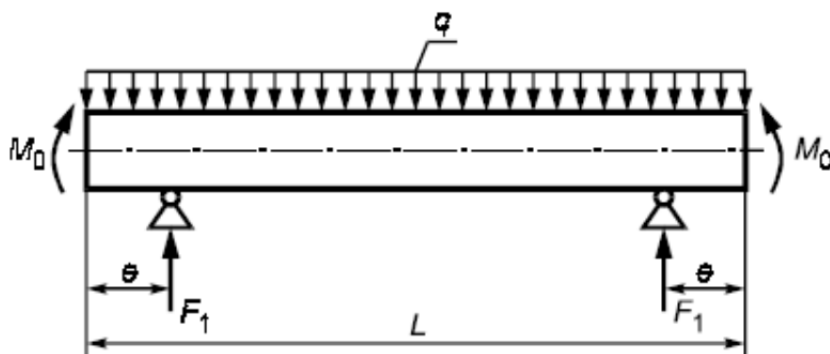
$$\delta_1 := 120 \cdot \text{deg}$$

угол охвата седловой опоры, °;

$$\delta_2 := 140 \cdot \text{deg}$$

угол охвата сосуда подкладным листом, °.

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



Выберите условие нагружения:

z :=

Выберите условие работы аппарата:

o :=

Расчётные данные:

Расчётная температура

$$t := \begin{cases} \max(t_{rab}, 110) & \text{if } o = 1 \\ 20 & \text{if } o = 2 \end{cases}$$

$$t = 110 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Допускаемое напряжение при расчетной температуре:

Принимаем по **ГОСТ Р 52857.1-2007** при расчётной температуре $t=110^\circ\text{C}$

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

$$\sigma_d = 160 \text{ МПа}$$

Расчётное давление:

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

$$p = 0.6 \text{ МПа}$$

Исполнительная толщина стенки:

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

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

$$s = 3 \text{ мм}$$

Допускаемое наружное давление

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

$$n_y = 2.4$$

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

$$p_d = 8.084 \times 10^{-3} \text{ МПа}$$

Вес аппарата:

$$A_k := 1.24 \cdot D$$

- площадь эллиптической крышки и днища

$$A_1 := \pi \cdot D \cdot L$$

- площадь корпуса

$$G := \begin{cases} A_k \leftarrow 1.24 \cdot D \\ A_1 \leftarrow \pi \cdot D \cdot L \\ m_k \leftarrow \rho \cdot (2 \cdot A_k \cdot s + A_1 \cdot s) \cdot 10^{-9} \\ G \leftarrow 9.8 \cdot m_k \end{cases}$$

$$G = 1.752 \times 10^3 \text{ Н}$$

Проверка применимости формул:

$$\text{Prov} := \left\{ \begin{array}{ll} \text{"Формулы применимы"} & \text{if} \\ \text{"Формулы НЕ применимы"} & \text{otherwise} \end{array} \right. \left\{ \begin{array}{l} A_k \geq (s - c) \cdot \sqrt{D \cdot (s - c)} \\ 60 \cdot \text{deg} \leq \delta_1 \leq 180 \cdot \text{deg} \\ \frac{s - c}{D} \leq 0.5 \\ s_2 \geq s \end{array} \right.$$

$$\text{Prov} = \text{"Формулы применимы"}$$

Нагрузки на корпус аппарата:

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

$$q = 0.417$$

$$M_0 := q \cdot \frac{D^2}{16}$$

$$M_0 = 9.383 \times 10^3 \text{ Н} \cdot \text{мм}$$

Опорное усилие:

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

$$F_1 = 875.772 \text{ Н}$$

Момент над опорой:

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

$$M_1 = 5.583 \times 10^5 \text{ Н} \cdot \text{мм}$$

Максимальный момент между опорами:

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

$$M_{12} = -4.723 \times 10^5 \text{ Н}\cdot\text{мм}$$

Поперечное усилие в сечении оболочки над опорой:

$$Q_1 := \frac{L - 2 \cdot a}{L + \frac{4}{3} \cdot H} \cdot F_1$$

$$Q_1 = 208.517 \text{ Н}$$

Проверка несущей способности обечайки в сечении между опорами

Допускаемый изгибающий момент:

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

$$M_d = 4.019 \times 10^7 \text{ Н}\cdot\text{мм}$$

Дополнительные вычисления:

$$x := \frac{L}{D}$$

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

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

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

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

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

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

$$K_9 = 1.408$$

Проверка условия прочности:

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

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

Примем:

$$s_s := 12 \text{ мм}$$

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

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

Проверка условия устойчивости:

$$p_v := \begin{cases} 0 & \text{if } z = 1 \\ p & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{Проверка2} := \begin{cases} \text{"Условие устойчивости выполняется."} & \text{if } \frac{p_v}{p_d} + \frac{M_{12}}{M_d} \leq 1 \\ \text{"Условие устойчивости НЕ выполняется."} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{Проверка2} = \text{"Условие устойчивости выполняется."}$$

Параметр, определяемый расстоянием до днища:

$$\gamma_{vv} := 2.83 \cdot \frac{a}{D} \cdot \sqrt{\frac{(s - c)}{D}}$$

$$\gamma = 0.936$$

Параметр, определяемый шириной пояса опоры:

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

$$\beta_1 = 3.439$$

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

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

$$\sigma_{mx} = 0.188$$

МПа

Выберите вид обечайки:

u :=

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

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

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

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

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

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

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

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

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

$$K_2 = 1.25$$

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

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

$$K_{10} = 0.25$$

K_{12} -коэффициент, учитывающий влияние угла охвата

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

$$K_{12} = 0.982$$

K_{14} -коэффициент, учитывающий влияние угла охвата

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

$$K_{14} = 0.634$$

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

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

$$K_{16} = 0.986$$

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

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

K_{13} - коэффициент, учитывающий влияние угла охвата

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

$$K_{13} = 0.346$$

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

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

$$K_{15} = 1$$

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

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

$$K_{11} = 0.291$$

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

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

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

$$v_{213} := 0$$

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

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

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

$$K_{112} = 1.251$$

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

$$K_{122} = 0.734$$

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

$$K_{113} = 1.288$$

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

$$K_{123} = 0.793$$

$$K_{1.2} := \min(K_{112}, K_{122})$$

$$K_{1.2} = 0.734$$

$$K_{1.3} := \min(K_{113}, K_{123})$$

$$K_{1.3} = 0.793$$

$$\sigma_{i2} := K_{1.2} \cdot K_2 \cdot \sigma_d$$

$$\sigma_{i2} = 146.861 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{i3} := K_{1.3} \cdot K_2 \cdot \sigma_d$$

$$\sigma_{i3} = 158.693 \text{ МПа}$$

$$F_{d2} := \frac{0.7 \cdot \sigma_{i2} \cdot \sqrt{D \cdot w} \cdot (w)}{K_{10} \cdot K_{12}}$$

$$F_{d2} = 3.491 \times 10^5 \text{ Н}$$

$$F_{d3} := \frac{0.9 \cdot \sigma_{i3} \cdot \sqrt{D \cdot (w)} \cdot (w)}{K_{14} \cdot K_{16} \cdot K_{17}}$$

$$F_{d3} = 6.509 \times 10^5 \text{ Н}$$

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

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.

$$F_e := F_1 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot \sqrt{\frac{D}{(w)}} \cdot K_{13} \cdot K_{15}$$

$$F_e = 1.801 \times 10^3 \text{ Н}$$

Допускаемое поперечное усилие:

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

$$Q_d = 7.765 \times 10^5 \text{ Н}$$

Допускаемое усилие из условия устойчивости:

$$F_d := \pi \cdot (D + w) \cdot (w) \cdot \sigma_d$$

$$F_d = 3.222 \times 10^6 \text{ Н}$$

$$\text{Пров}_4 := \begin{cases} \text{"Условие устойчивости выполняется."} & \text{if } \frac{p_v}{p_d} + \frac{M_1}{M_d} + \frac{F_e}{F_d} + \left(\frac{Q_1}{Q_d} \right)^2 \leq 1 \\ \text{"Условие устойчивости НЕ выполняется."} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{Пров}_4 = \text{"Условие устойчивости выполняется."}$$

Проверка условия прочности:

$$\text{Пров}_5 := \begin{cases} \text{"Условие прочности выполняется."} & \text{if } \frac{p \cdot D}{4 \cdot (s - c)} + \frac{4 \cdot M_1}{\pi \cdot D^2 \cdot (s - c)} \leq \sigma_d \\ \text{"Условие прочности НЕ выполняется."} & \text{otherwise} \\ \text{"Проверка не выполняется"} & \text{if } z = 2 \end{cases}$$

$$\text{Пров}_5 = \text{"Условие прочности выполняется."}$$

Проверка условия устойчивости:

$$\text{Пров}_6 := \begin{cases} \text{"Условие устойчивости выполняется."} & \text{if } \frac{p_v}{p_d} + \frac{M_1}{M_d} + \left(\frac{Q_1}{Q_d} \right)^2 \leq 1 \\ \text{"Условие устойчивости НЕ выполняется."} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Пров_6 = "Условие устойчивости выполняется."

6. Гидравлический расчет

6.1 Расчет для воды

$R_0 := 0.160 \text{ м}$

радиус изгиба трубопровода

$h_{\text{под}} := 0.6 \text{ м}$

высота подъема

$\eta := 0.85$

кпд насоса

$L := 4 \text{ м}$

длина трубопровода

Далее производим гидравлический расчет по примеру 1.26 [с.41, 1]

$D_{\text{см}} := 0.15$

$n := 257$

Площадь поперечного сечения:

$$S := \pi \cdot \frac{D_{\text{см}}^2}{4} \cdot n = 4.542 \text{ м}^2$$

Скорость газа:

$$\omega_{\text{см}} := \frac{V_{\text{в}}}{S} = 3.222 \times 10^{-3} \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

Критерий Рейнольдса:

$$\text{Re} := \frac{\omega_{\text{см}} \cdot D_{\text{см}} \cdot \rho_{\text{H}_2\text{O}}}{\mu_{\text{H}_2\text{O}}} = 1.795 \times 10^3$$

Определяем коэффициент трения. По табл. XII [с.22,1] шероховатость стальных труб с коррозией $\epsilon=0.2$ мм. По рисунку 1.5 [с.519,9] находим λ .

$$\epsilon := 0.0002 \text{ м}$$

$$\lambda := 0.011$$

$$\frac{D_{\text{см}}}{\epsilon} = 750$$

Коэффициенты местных сопротивлений из табл. XIII [с.520,1]:

$$\zeta_1 := 0.5$$

$$\zeta_3 := 2 \cdot 0.15 = 0.3$$

$$\frac{R_0}{D_{\text{см}}} = 1.067$$

$$A_{\zeta} := 1$$

т.к. 90°

$$\mathbf{x} := (1 \ 2)^T$$

$$\mathbf{y} := (0.21 \ 0.15)^T$$

$$B_{\zeta} := \left(\text{interp} \left(x, y, \frac{R_0}{D_{\text{см}}} \right) \right) = 0.206$$

$$\zeta_4 := A_{\zeta} \cdot B_{\zeta} = 0.206$$

отвод при 90° и $\frac{R_0}{D_{\text{см}}} = 1.067$

$$\zeta := \zeta_1 + \zeta_3 + \zeta_4 = 1.006$$

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

Общее сопротивление трубы (сети):

$$\Delta p := \rho_{\text{H}_2\text{O}} \cdot \left[\frac{\mu_{1\text{B}}^2 \left(1 + \zeta + \lambda \cdot \frac{L}{D_{\text{CM}}} \right)}{2} \right] + \rho_{\text{H}_2\text{O}} \cdot g \cdot h_{\text{под}} + P_{\text{см}} \cdot g = 5.602 \times 10^3 \text{ Па}$$

Потребляемая насосом мощность по уравнению:

$$N_{\text{см}} := \frac{V_{\text{В}} \cdot \Delta p}{1000 \cdot \eta} = 0.096 \text{ кВт}$$

По табл.3 приложения 1.1 (с.38,5) подбираем наиболее подходящий двигатель:

Центробежный многоступенчатый секционный насос марки X500, для которого при оптимальных условиях работы $Q=1.5 \cdot 10^{-1} \text{ м}^3/\text{с}$, $H=19 \text{ м}$, $\eta_{\text{H}}=0.80$, номинальной мощностью $N_{\text{H}}=55 \text{ кВт}$. Частота вращения вала $n=16 \text{ с}^{-1}$

6. 2 Для водонефтяной фракции

$$R_0 := 0.160 \text{ м}$$

радиус изгиба трубопровода

$$h_{\text{под}} := 0.6 \text{ м}$$

высота подъема

$$\eta := 0.85$$

кпд насоса

$$L := 4 \text{ м}$$

длина трубопровода

Далее производим гидравлический расчет по примеру 1.26 [с.41, 1]

$$D_{\text{см}} := 0.15$$

$$n := 257$$

Площадь поперечного сечения:

$$D_{\text{см}} = 0.15$$

$$S := \pi \cdot \frac{D_{\text{см}}^2}{4} \cdot n = 4.542 \text{ м}^2$$

Скорость газа:

$$\omega_{\text{см}} := \frac{V_{\text{H}}}{S} = 6.606 \times 10^{-3} \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

Критерий Рейнольдса:

$$Re := \frac{\omega_{\text{см}} \cdot D_{\text{см}} \cdot \rho_{\text{H}}}{\mu_{\text{H}}} = 2.054 \times 10^3$$

Определяем коэффициент трения. По табл. XII [с.22,1] шероховатость стальных труб с коррозией $e=0.2$ мм. По рисунку 1.5 [с.519,9] находим λ .

$$e := 0.0002 \text{ м}$$

$$\lambda := 0.011$$

$$\frac{D_{\text{см}}}{e} = 750$$

Коэффициенты местных сопротивлений из табл. XIII [с.520,1]:

$$\zeta_1 := 0.5$$

$$\zeta_3 := 2 \cdot 0.15 = 0.3$$

$$\frac{R_0}{D_{\text{см}}} = 1.067$$

$$A_{\zeta} := 1$$

т.к. 90°

$$x := (1 \ 2)^T$$

$$y := (0.21 \ 0.15)^T$$

$$B_{\zeta} := \left(\text{linterp} \left(x, y, \frac{R_0}{D_{\text{см}}} \right) \right) = 0.206$$

$$\zeta_4 := A_\zeta \cdot B_\zeta = 0.206$$

$$\text{отвод при } 90^\circ \text{ и } \frac{R_0}{D_{\text{см}}} = 1.067$$

$$\zeta := \zeta_1 + \zeta_3 + \zeta_4 = 1.006$$

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

Общее сопротивление трубы (сети):

$$\Delta p := \rho_{1\text{н}} \cdot \left[\frac{\mu_{1\text{н}}^2 \left(1 + \zeta + \lambda \cdot \frac{L}{D_{\text{см}}} \right)}{2} \right] + \rho_{1\text{н}} \cdot g \cdot h_{\text{под}} + P_{\text{см}} \cdot g = 4.848 \times 10^3 \text{ Па}$$

Потребляемая насосом мощность по уравнению:

$$N_{\text{см}} := \frac{V_{\text{в}} \cdot \Delta p}{1000 \cdot \eta} = 0.083 \text{ кВт}$$

По табл.3 приложения 1.1 (с.38,5) подбираем наиболее подходящий двигатель:

Центробежный многоступенчатый секционный насос марки X500, для которого при оптимальных условиях работы $Q=1.5 \cdot 10^{-1} \text{ м}^3/\text{с}$, $H=19 \text{ м}$, $\eta_{\text{н}}=0.80$, номинальной мощностью $N_{\text{н}}=55 \text{ кВт}$. Частота вращения вала $n=16 \text{ с}^{-1}$

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
2К22	Гилев Максим Владимирович

Институт	ИФВТ	Кафедра	ОХХТ
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	МАХП

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

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

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Затраты на проектирование, заказ, монтаж и установку теплообменник	Расчет общих затрат на проектирование отдельных узлов, их приобретение и установку.
2. Расчет экономической эффективности модернизации теплообменник	Расчет экономической эффективности и экономии средств при модернизации кожухотрубчатого теплообменника

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Затраты на проектирование и закупку отдельных узлов теплообменника

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Сечина Ася Александровна	К.Х.Н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2К22	Гилев Максим Владимирович		

7. Расчет экономической эффективности модернизации кожухотрубчатого теплообменника.

Понятия «экономический эффект» и «экономическая эффективность» относятся к числу важнейших категорий рыночной экономики. Эти понятия тесно связаны между собой.

Экономический эффект предполагает какой-либо полезный результат, выраженный в стоимостной оценке.

Экономическая эффективность – это соотношение между результатами хозяйственной деятельности и затратами живого и овеществленного труда, ресурсами.

В показателях выручки (объеме реализованной продукции), дохода, прибыли выражается полезный результат деятельности фирмы в стоимостной форме. Их принято называть показателями экономического эффекта, который является величиной абсолютной (руб./ед. времени).

В отличие от экономического эффекта экономическая эффективность – величина относительная. Определить её можно лишь сопоставив экономический эффект как результат деятельности с затратами, которые обусловили этот эффект. Чаще всего экономическая эффективность определяется коэффициентом экономической эффективности E в зависимости от того, в чем выражен экономический эффект и какие затраты учитываются при расчете, коэффициент экономической эффективности может рассчитываться по-разному, но суть остается той же.

Самым распространенным коэффициентом экономической эффективности является показатель рентабельности p (все его разновидности).

Оценка экономической эффективности лежит в основе управления инвестиционной деятельностью предприятия, так как выбор инвестиционных проектов осуществляется по критерию экономической эффективности и показателям её характеризующим.

При расчете показателей экономической эффективности следует различать экономическую эффективность краткосрочного решения (разовой сделки) и экономическую эффективность долгосрочного проекта, реализация которого предполагает несколько лет.

Эффект и эффективность

Любая деятельность имеет определенный результат, который человек всегда стремился оценить. С развитием производства, а особенно его промышленного масштаба, эта оценка, стремление «получать больше взамен на меньшее или, по крайней мере, столько же» спровоцировала появление концепции эффективности производства – как отдельной серьезной составляющей изучения экономики организации.

Нужно различать понятие «эффект» и «эффективность».

Эффект – абсолютный показатель результата какого-либо действия или деятельности. Он может быть как положительным, так и отрицательным.

Эффективность – относительный показатель результативности и может быть только положительной величиной.

Расчет экономической эффективности рекомендуется производить путём сравнения затрат с экономическим эффектом как денежным выражением результата по формуле:

$$\text{Эффективность (Э)} = (\text{Результат (Р)} / \text{Затраты (З)}) * 100\%$$

Затраты (З) и результаты (Р) могут сопоставляться между собой различными способами, при этом получаемые показатели имеют разный смысл, акцентируя ту или иную сторону категории «эффективность»:

показатель вида P/Z характеризует результат, получаемый с единицы затрат;

отношение Z/P означает удельную величину затрат, приходящихся на единицу достигаемого результата;

разница $P-Z$ характеризует абсолютную величину превышения результатов над затратами;

показатель $P-Z/Z$ даёт оптимальную величину эффекта;

показатель $P-Z/P$ отражает удельную величину эффекта, приходящуюся на единицу получаемого результата.

В настоящее время используются различные термины, по-своему характеризующие соотношение результата с определёнными целевыми установками – результативность, целесообразность, экономичность, производительность, действенность.

Эффективность – характеристика процессов и воздействий сугубо управленческого характера, отражающая прежде всего степень достижения преследуемых целей, поэтому эффективностью обладает лишь целенаправленное взаимодействие.

Под эффективностью также понимают:

-определённый конкретный результат (эффективность действия чего-либо);

-соответствие результата или процесса максимально возможному, идеальному или плановому;

-функциональное разнообразие систем;

-числовую характеристику удовлетворительности функционирования;

-вероятность выполнения целевых установок и функций;

-отношение реального эффекта к требуемому (нормативному) эффекту.

В данной работе будет произведена оценка эффективности модернизации кожухотрубчатого теплообменника. Иными словами, будет произведена оценка того, насколько экономически выгодно осуществлять модернизацию аппарата, возможно, что проще и дешевле будет приобрести новый аппарат.

Для расчета экономической эффективности был проведен мониторинг рынка теплообменников. По результатам мониторинга было установлено, что средняя стоимость кожухотрубчатого теплообменника с необходимыми параметрами работы, а также с той укомплектованностью, которая имеется на

модернизируемом нами аппарате, составила 126 тыс. рублей. При этом, также необходимо произвести доставку оборудования транспортной компанией. Транспортные компании предлагают наиболее дешевую доставку железнодорожным сообщением. Стоимость доставки составит 73000р. Данная цена складывается из стоимости за массу товара, а также за его габариты. Итоговая сумма нового лабораторного тарельчатого гранулятора вместе с доставкой составила 199 тыс. рублей.

Затраты = стоимость товара + доставка = 126000 + 73000 = 199000 рублей

Расчет экономической эффективности

Далее рассмотрим, какие затраты будут необходимы на проектирование, заказ, установку некоторых узлов кожухотрубчатого теплообменника и на поверочный расчет уже имеющихся узлов этого же аппарата. Для модернизации нашего аппарата необходимо спроектировать и заказать следующие узлы:

- трубки;
- трубная решетка;
- линзовый компенсатор;
- перегородки;

Стоимость оказания услуг по проектированию данных узлов, исходя из объема и сложности расчетов:

- проектирование трубок – 1000 рублей;
- проектирование трубной решетки– 2500 рублей;
- проектирование линзового компенсатора – 3000 рублей;
- проектирование перегородок – 1000 рублей;

Стоимость оказания услуг по производству поверочного расчета отдельного звена аппарата:

- поверочный расчет обечайки – 3000 рублей;
- поверочный расчет днищ – 2500 рублей;

- поверочный расчет фланцевых соединений – 4500 рублей;
- поверочный расчет штуцеров – 5000 рублей;
- поверочный расчет опор аппарата – 3000 рублей;

Стоимость производства деталей на заказ, либо их покупка:

- трубки – 254 рублей;
- трубная решетка – 4000 рублей;
- линзовый компенсатор – 1000 рублей;
- перегородки – 1000 рублей;

Затраты на каждую произведенную деталь:

$$Z_i = Pr_i + C_i$$

Pr_i - затраты на проектирование детали, руб;

C_i – затраты на заказ либо покупку детали, руб;

Затраты на трубки:

$$Z_1 = 2540 + 1000 = 3540 \text{ рублей}$$

Затраты на трубную решетку:

$$Z_2 = 4000 + 2500 = 6500 \text{ рублей}$$

Затраты на линзовый компенсатор:

$$Z_3 = 1000 + 3000 = 3100 \text{ рублей}$$

Затраты на перегородки:

$$Z_4 = 1000 + 1000 = 2000 \text{ рублей}$$

Общие затраты (с учетом затрат на поверочный расчет),руб:

$$Z = \sum Z_i + \sum \Pi_i$$

$\sum \Pi_i$ -сумма затрат на поверочный расчет старых узлов аппарата,руб.

$$\begin{aligned} Z &= 3000 + 2500 + 4500 + 5000 + 3000 + 3540 + 6500 + 3100 + 2000 = \\ &= 33140 \text{ рублей} \end{aligned}$$

Сведем расчеты в таблицу:

№ п/п	Наименование узла аппарата	Стоимость проектирования/поверки, руб.	Стоимость на заказ/покупку, руб.	Кол-во, шт.	Всего , руб.
1	Трубки	1000	254	206	53324
2	Трубная решетка	2500	4000	2	11500
3	Линзовый компенсатор	3000	1000	1	3000
4	Перегородки	1000	1540	10	10000
5	Обечайка	3000		1	3000
6	Днища	2500		2	5000
7	Фланцевые соединения	4500		5	22500
8	Штуцера	5000		4	20000
9	Опоры	3000		2	6000
Итого					134324

Эффективность = результат/затраты*100%= 199000/134324*100%
=148%

Экономия средств=199000-134324=64676 рублей

По произведенным мною расчетам можно сделать вывод о том, что проектирую и заказываю необходимые элементы аппарата, мы экономим средства в 1,5 кратном размере, что, безусловно, наиболее экономически эффективно. На сэкономленные средства можно приобрести детали, которые больше остальных подвержены износу, тем самым мы значительно увеличиваем срок службы аппарата, что и было целью данного проекта.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
2К22	Гилев Максим Владимирович

Институт	ИФВТ	Кафедра	ОХХТ
Уровень образования	Бакалавр	Направление/специальность	Машины и аппараты химических производств

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Объект исследования – Кожухотрубчатый теплообменник Рабочая зона – Технологический цех Область применения – Нефтяная промышленность
--	---

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Производственная безопасность 1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности: – физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой; – действие фактора на организм человека; – приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ); – предлагаемые средства защиты; – (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства). 1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности: – механические опасности (источники, средства защиты); – термические опасности (источники, средства защиты); – электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты); – пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения).	1.1. Выявление вредных факторов при работе кожухотрубчатого теплообменника: - вредные вещества(метан, этан, пропан), производственный шум, освещенность; - физико-химическая природа вредности веществ и их связь с разрабатываемой темой; - действие вредных веществ(метан, этан, пропан и т.д.) на организм; -микроклиматические условия; - предлагаемые средства защиты для работы: 1. индивидуальные средства защиты - одноразовые перчатки, каска; 1.2. Выявление опасных факторов при разработке и эксплуатации научного исследования: - термическая опасность (оборудования с повышенной или пониженной температурой); - электробезопасность (наличие химически активной и органической среды, разрушающей изоляцию и токоведущие части электрооборудования); - пожаровзрывоопасность (оборудования, работающие под давлением и наличие легковоспламеняющих жидкостей); - вентиляция (способы вентиляции в помещении); -молниезащита производственных зданий и сооружений (при работе с
---	--

	электрооборудованием необходимо заземление)
2. Экологическая безопасность: – анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы); – анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы); – анализ воздействия объекта на литосферу (отходы);	- вредные вещества, которые выделяются или используются во время работы аппарата - Вредные воздействия на гидросферу и литосферу не воздействуют.
3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях: – перечень возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения; – выбор наиболее типичной ЧС; – разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; – разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий.	- перечень возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения-пожар, взрыв, разрушения зданий в результате разрядов атмосферного электричества; - разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий: 1. использование огнетушителя, песка, асбестового одеяла 2. в случае стихийных бедствий отключение воды и электричества 3. организационная эвакуация работающих;
4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.	- "Трудовой кодекс Российской Федерации" от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 31.12.2014) -организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны: технический перерыв, проветривание, полная изоляция от производственных источников шума и вибрации.

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор кафедры ЭБЖ ИНК	Ахмеджанов Р.Р.	д.б.н., профессор		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2К22	Гилев Максим Владимирович		

8. Техника безопасности и противопожарная техника, охрана окружающей среды и экологии

Введение

Безопасность жизнедеятельности на производстве – это совокупность многих правил и норм, созданных для обеспечения защиты жизни и сохранения здоровья человека. При приеме на работу будущий сотрудник обязательно должен пройти инструктаж по технике безопасности. Руководители предприятий и их подразделений осуществляют четкий контроль над своевременными инструктажами. Обязательно ведут журнал, где ставят подписи все работники, которые прошли инструктаж.

Безопасный микроклимат на производстве обеспечивает оптимальная температура, влажность и скорость движения воздуха. На некоторых предприятиях контролируют также атмосферное давление, уровень шума, освещение, вентиляцию, вибрацию, уровень загрязнения воздуха. По правилам техники безопасности у каждого работника должна быть спецодежда, головной убор, перчатки, другие средства индивидуальной защиты.

Строгое выполнение норм техники безопасности обеспечивает защиту сотрудника от опасностей и рисков, которые могут возникнуть на работе. Безопасность жизнедеятельности на производстве была создана, чтобы обеспечить правильную среду обитания на рабочем месте, и не навредить деятельности и здоровью человека.

8.1. Производственная безопасность

Безопасные условия труда, в первую очередь, обеспечиваются комплексом профилактических мероприятий, соответствующих созданию таких условий труда, когда суммарное воздействие всех факторов на организм человека не превышает установленных предельно-допустимых концентраций.

8.1.1.Выявление вредных факторов при работе теплообменника

Освещенность

Освещение оказывает большое влияние на зрительную работоспособность, физическое и моральное состояние людей, производительность и качество труда.

Следовательно, для сохранения работоспособности в течение рабочей смены необходимым условием является рациональное освещение помещений и рабочих мест, которое обеспечивается естественным и искусственным освещением согласно СНиП 23-05-095[4].

Томск относится к 1 группе административного района. Характеристика зрительной работы средней точности, поэтому разряд зрительной работы принимаем 26, а освещение должно удовлетворять следующим требованиям: обеспечивать равномерность освещения, не вызывать слепящего действия, не образовывать резких теней, быть экономичным.

В качестве искусственного освещения выбираем люминесцентные открытые двухламповые светильники типа ОДО-2-40, удовлетворяющим требованиям взрыво-пожаробезопасности, а также для работы в пыльных помещениях. В качестве естественного освещения выбираем боковую систему освещения от оконных проемов, коэффициент естественного освещения $e=1,2$.

В лаборатории искусственное освещение обеспечивается четырьмя люминесцентными лампами и освещенность $E = 400$ люкс [4]

Расчет освещенности

Геометрические размеры лаборатории следующие:

Ширина $A=6$ м;

Длина $B=5$ м;

Высота $H=5$ м.

Минимальное освещение:

$E_T=400$ лк.

Коэффициент запаса для помещения с малым выделением пыли при люминесцентных лампах:

$$k=1,5.$$

Расчетная освещенность:

$$E_p = E_T * k = 400 * 1,5 = 600 \text{ лк.}$$

Свес светильников с потолка: $h_c = 0,2 \text{ м.}$

Высота рабочей поверхности над полом: $h_p = 3 \text{ м.}$

Высота подвеса светильников над рабочим местом: $h = H - h_c - h_p = 5 - 0,2 - 3 = 1,8 \text{ м.}$

Площадь помещения:

$$S = A * B = 6 * 5 = 30 \text{ м}^2.$$

Удельная мощность:

$$w = 16 \text{ Вт/м}^2.$$

Суммарная установленная мощность:

$$P = S * w = 30 * 16 = 480 \text{ Вт.}$$

Мощность одного светильника:

$$P_i = 80 \text{ Вт.}$$

Количество светильников: $n = P / P_i = 480 / 80 = 6 \text{ шт.}$

Для равномерного общего освещения светильники располагаются в коридорном порядке.

Размеры светильника типа ОД-2-40:

Ширина 266 мм;

Длина 1230 мм;

Высота 156 мм.

Величина светового потока лампы:

$$F = (E * k * S * z) / (n * p),$$

где $E = 400 \text{ лк}$ - минимальная освещенность,

$k = 1,5$ - коэффициент запаса для люминесцентных ламп,

$S = 5 * 6 = 30 \text{ м}^2$ - площадь помещения

$z = 0,9$ - коэффициент неравномерности освещения

$i = S / (h * (A + B)) = 30 / (1,8 * (5 + 6)) = 0,54$ - индекс помещения,

$p_n = 70\%$ - коэффициент отражения потолка

$p_c = 50\%$ - коэффициент отражения стен

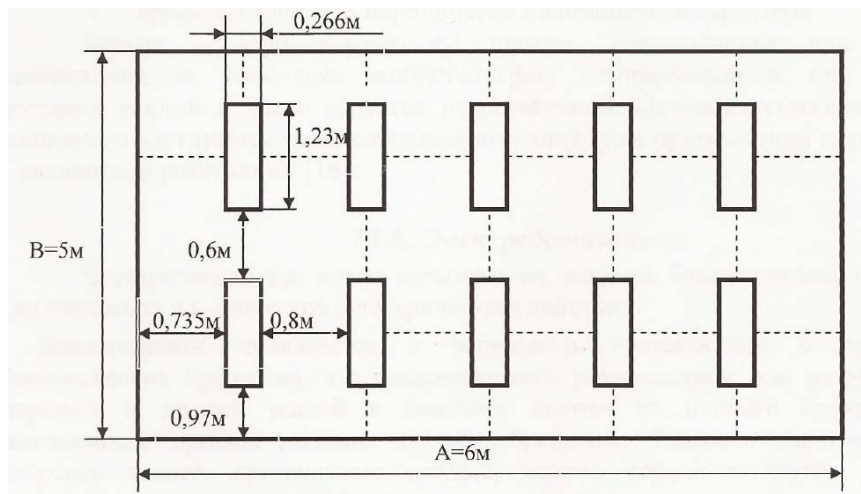
$\rho=0,3$ - коэффициент использования светового потока.

$$F=(400*1,5*30*0,9)/(6*0,3)=9000\text{лм}$$

$$F_{\text{ТАБЛ}}=2480\text{лм}$$

$$((F-F_{\text{ТАБЛ}})/F) * 100\% = ((9000-2480)/9000) * 100\% = 72,4\%$$

План - схема размещения светильников



Вредные вещества

Источниками выбросов и сбросов загрязняющих веществ в поверхностные и подземные воды, а так же загрязнение почв и сброс отходов являются:

в поверхностные и подземные воды - это различные виды работ по ремонту технологических установок и трубопроводов, когда в дождевые и талые воды может попасть нефть и нефтепродукты;

загрязнение почв - при штатной эксплуатации объектов они не оказывают негативного воздействия на почвенно-растительный покров. При проведении работ по строительству, ремонту, реконструкции на объектах линейной части вызывает нарушение земель. А загрязнение почв может произойти при какой-либо аварийной ситуации, связанной с разливом нефти;

отходы - в процессе эксплуатации объекта образуются различные виды отходов производства и потребления различных классов опасности.

Шумы и вибрации

Шум и вибрация в большей или меньшей степени могут временно активизировать или постоянно подавлять определенные психические процессы организма человека. Физиопатологические последствия могут проявляться в форме нарушения слуха и других анализаторов.

Шум и вибрация не только ухудшают самочувствие человека и снижают производительность труда в среднем на 10-15%, но и очень часто приводят к профессиональным заболеваниям.

Шумы создаются работающими приборами, вентиляторами. В большинстве случаев технически трудно снизить шум до очень малых уровней, поэтому при нормировании исходят не из оптимальных, а из терпимых условий, т.е. таких, когда вредное действие шума на человека не проявляется или проявляется незначительно.

Нормирование допустимых уровней звукового давления производится в соответствии с ГОСТ 12.1.003.-88 [4]. По данному ГОСТу уровень звука в производственных помещениях не должен превышать 85 дБА.[5]

Снижение шума и вибрации можно достичь следующими методами:

- устранение причин шума и вибрации или существенное их ослабление в источнике образования;
- изоляция источников шума и вибрации от окружающей среды средствами звуко- и виброизоляции, звуко- и вибропоглощения;
- применение средств, снижающих шум и вибрацию на пути их распространения;
- архитектурно - планировочные решения, предусматривающие рациональное размещение технологического оборудования, машин, механизмов, акустическая обработка помещений; применение средств индивидуальной защиты;
- профилактические мероприятия медицинского характера.

Борьба с аэродинамическим шумом, возникающим при работе вентиляционных установок, кондиционеров, компрессоров и т.д. требует больших усилий и часто является недостаточной. Основное снижение шума чаще всего достигается звукоизоляцией источника или применением глушителей - активных и реактивных.[6]

Микроклиматические условия

Одним из необходимых условий здорового и высокопроизводительного труда является обеспечение нормальных микроклиматических условий, являющихся важной характеристикой санитарно-гигиенических условий труда. К микроклиматическим условиям на рабочем месте относятся температура воздуха, относительная влажность, скорость движения воздуха.

Микроклиматические условия в помещении очень часто изменчивы и зависят от метеорологических условий наружной атмосферы, мощности источников тепловыделений в помещении, расположения рабочего места, воздухообмена и т.д. Вызываемое метеорологическими условиями тепловое воздействие или воздействие холода может привести к значительным изменениям жизнедеятельности организма человека и вследствие этого к снижению производительности труда, повышению общей заболеваемости работающих. Для исключения вредного влияния микроклиматических факторов на организм человека и создания нормальных условий труда в рабочей зоне параметры воздушной среды должны соответствовать СанПин 2.2.4.548-96.[3]

Параметры микроклиматических условий соответствуют СанПиН 2.2.4.548-96 [3].

Температура, влажность и скорость движения воздуха нормированы с учетом сезона года, категории выполняемых физических работ. В процессе производства персонал работает стоя, большинство операций связано с

ходьбой, перемещением и переноской тяжестей до 10 кг и сопровождается умеренным физическим напряжением, поэтому работа относится как средней тяжести, категории 26.

Для обеспечения нормальных метеорологических условий и поддержания теплового равновесия между телом человека и окружающей средой в лаборатории проводится ряд мероприятий, основными из которых являются: обеспечение приточно-вытяжной вентиляцией, системой водяного отопления, которые всегда должны находиться в рабочем состоянии. [2]

В нашем помещении существуют действующие вентиляция и водяное отопление, которые позволяют поддерживать необходимую температуру, соответствующую СанПин 2.2.4.548-96 [3].

Воздействие вредных веществ на организм

Отравления, которые могут получить работающие, бывают острые и хронические.

Вредные вещества могут поступать в организм человека через органы дыхания (пары, газы, пыль), кожу (жидкие, масляные, твердые вещества), желудочно-кишечный тракт (жидкие, твердые, и газы). Наиболее часто вредные вещества попадают в организм человека через органы дыхания и быстро проникают к жизненно важным центрам человека.

Кроме общего действия на организм человека вредные вещества могут оказывать и местное воздействие. Так действуют кислоты, щелочи, некоторые соли и газы (хлор, сернистый ангидрид, хлористый водород и др.). Химические вещества могут вызывать ожоги трех степеней.

Классификация токсических веществ

В классификации по токсическому (вредному) эффекту воздействия на организм человека химические вещества разделяют на общетоксические,

раздражающие, сенсibiliзирующие, канцерогенные, мутагенные, влияющие на репродуктивную функцию.

Общетоксические химические вещества (углеводороды, сероводород, синильная кислота, тетраэтилсвинец) вызывают расстройства нервной системы, мышечные судороги, влияют на кроветворные органы, взаимодействуют с гемоглобином крови.

Раздражающие вещества (хлор, аммиак, оксид азота, фосген, сернистый газ) воздействуют на слизистые оболочки и дыхательные пути.

Сенсибилизирующие вещества (антибиотики, соединения никеля, формальдегид, пыль и др.) повышают чувствительность организма к химическим веществам, а в производственных условиях приводят к аллергическим заболеваниям.

Канцерогенные вещества (бензпирен, асбест, никель и его соединения, окислы хрома) вызывают развитие всех видов раковых заболеваний.

Химические вещества, влияющие на репродуктивную функцию человека (борная кислота, аммиак, многие химические вещества в больших количествах), вызывают возникновение врожденных пороков развития и отклонений от нормального развития у потомства, влияют на внутриутробное и послеродовое развитие потомства.

Индивидуальная защита

Работники обеспечиваются специальной одеждой, специальной обувью и другими средствами индивидуальной защиты в соответствии с Правилами обеспечения работников специальной одеждой, специальной обувью и другими средствами индивидуальной защиты и типовыми отраслевыми нормами их бесплатной выдачи.

При работах внутри емкостей, в траншеях, колодцах и других работах, выполняемых в среде с недостаточным содержанием кислорода (по объему менее 20%), для защиты органов дыхания должны применяться шланговые или

кислородно-изолирующие противогазы в соответствии с требованиями действующих государственных стандартов или воздушно-изолирующие аппараты. Использование фильтрующих противогазов в этих случаях не допускается.

8.1.2. Выявление опасных факторов при разработке и эксплуатации научного исследования

Электробезопасность

Электрический ток представляет собой опасность, которая не предупреждает о своем присутствии (нет видимых движущихся частей, свечения, запаха, шума), а в случае повреждения электроустановок, в данном случае теплообменник, (нарушения прочности изоляции, отсутствия заземления, неправильного его выполнения, обрыва и т.д.) вокруг места повреждения возникает опасное электрическое поле.

Особенно опасно прикосновение человека к токоведущим частям находящимся под напряжением.

Вследствие теплового воздействия электрического тока при непосредственном прикосновении человека к токоведущим частям и при воздействии электрической дуги возникают внешние местные поражения (ожоги).

Ожоги могут быть поверхностные или глубокие, сопровождающиеся поражением не только кожных покровов, но и подкожной ткани, жира, глуболежащих мышц и кости.

Различают три степени электрических ожогов :

1 Покраснение кожи.

Опасные факторы действия электрического тока

2 Образование пузырей.

3. Обугливание и омертвление кожи.

Раны от ожогов заживают очень долго, а поражение 2/3 поверхности тела может привести к смертельному исходу. Возникают также механические

повреждения — разрыв тканей и некоторых внутренних органов, это может быть следствием динамических перенапряжений при прохождении через тело человека электрического тока (практически — тока короткого замыкания) при случайном прикосновении одновременно к двум токоведущим шинам, напряжением выше 1000 В.

Механическое повреждение может быть вызвано падением человека с высоты вследствие испуга при незначительном воздействии силы тока, практически безопасного, если не были выполнены меры безопасности при работе на высоте.

Наибольшую, опасность при всех видах поражения представляет электроудар, когда при прохождении тока через тело человека поражается весь организм в целом, возникают судороги, расстройство дыхания, аритмия работы сердца. Степень опасности силы тока зависит от силы тока, проходящего через организм. Если сила тока, проходящего через организм 1,5 мА (при постоянном напряжении), то в месте контакта с токоведущими частями ощущается зуд и нагрев. Такую силу тока называют порогом ощущения.[7]

Увеличение силы тока до 10 мА при переменном и до 50 мА при постоянном напряжении вызывает у человека сильные боли в пальцах и кистях рук. При такой силе тока человек еще может самостоятельно оторваться от токоведущих частей. Такую силу тока называют условно безопасной.

Дальнейшее увеличение от 10 мА до 100 мА при переменном и от 50 мА до 100 мА при постоянном напряжении вызывает очень сильные боли, руки парализуются, наступает паралич дыхания, самостоятельно оторваться от токоведущих частей невозможно. Сила тока при снижении сопротивления человеческого тела постоянно возрастает и при достижении 100 мА, как при переменном, так и при постоянном напряжении наступает клиническая смерть (отсутствие внешних признаков жизни).[7]

Опасное и вредное воздействие на людей электрического тока, электрической дуги и электромагнитных полей проявляются в виде электротравм и

профессиональных заболеваний. Для предотвращения этих и других несчастных случаев необходимо разработать электробезопасность конструкций. [7]

Основные способы и средства электрозащиты:

- изоляция токопроводящих частей и ее непрерывный контроль;
- установка оградительных устройств;
- предупредительная сигнализация и блокировки;
- использование знаков безопасности и предупреждающих плакатов;
- использование малых напряжений;
- электрическое разделение сетей;
- защитное заземление;
- выравнивание потенциалов;
- зануление;
- защитное отключение;
- средства индивидуальной электрозащиты.[11]

Молниезащита зданий и сооружений

В соответствии с инструкцией РД 34.21.122-87 здания и сооружения подразделяются на три категории по устройству молниезащиты. Категории устанавливаются с учетом классификации зданий и сооружений по классу взрыво- и пожароопасных зон, предусмотренной правилами (ПУЭ); интенсивности грозовой деятельности в районе, сложности молниезащитных устройств, в зависимости от типа зоны молниезащиты и ожидаемого количества молний. Данные по молниезащите приведены в таблице.

Табл.2 Молниезащита зданий и сооружений.

Район расположения предприятия	Среднегодовая продолжительность гроз, ч/год	Вид объекта и класс взрывоопас- ных зон	Тип зоны защиты	Категория молниезащиты	Тип молниевывода
П.Игол	40-60	Цех	Б	Ш	Молниепрёмная сетка, стержневой молниевывод

Термическая опасность

Термические опасности могут приводить к:

- ожогам и ошпариванию из-

за соприкосновения с предметами или материалами, имеющими чрезвычайно высокую или низкую температуру, вызванную, например, пламенем или взрывом, а также излучением источников тепла;

- ущерб здоровью из-

за воздействия высокой или низкой температуры окружающей производственной среды.

Вентиляция

Вентиляция представляет собой организованный воздухообмен, обеспечивающий удаление из помещения воздуха, загрязненного вредными газами, парами, пылью, а также улучшающий метеорологические условия в помещениях. По способу подачи в помещение свежего воздуха и удаления загрязненного системы вентиляции делят на естественную, искусственную (механическую) и смешанную. По назначению вентиляция может быть общеобменной и местной.

На исследуемом участке используется естественная вентиляция помещения (аэрация).

Аэрация представляет собой естественную организованную управляемую вентиляцию. Физической основой такой вентиляции является тепловое (теплый воздух, более легкий, чем холодный поднимается вверх, вытекает наружу, в результате чего внизу создается пониженное давление и наружный воздух устремляется внутрь), а также ветровое давление. При аэрации воздухообмен контролируют с помощью фрамуг, расположенных в нижней части здания.

8.2. Экологическая безопасность

Работа с теплообменником оказывает негативное влияние на качество окружающей среды.

Основные технологии экологической безопасности:

- Утилизация тепла удаляемого воздуха для подогрева приточного
- Использование тепла солнечной радиации
- Система с регенерацией тепла
- Холодильные системы накопительного типа
- Теплонасосные системы
- Абсорбционные системы
- Автономная выработка электрической энергии

8.3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях

8.3.1. Пожарная и взрывная опасность

Обеспечение пожарной безопасности зданий и сооружений производится в соответствии с требованиями Федерального закона от 22 июля 2008 г. N 123-ФЗ

«Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» - каждый объект защиты должен иметь систему обеспечения пожарной безопасности.

В таблице 14 представлены данные по взрывопожарной и пожарной опасности наружных установок.

Таблица 14 - Классификация взрывопожарной и пожарной опасности производственных помещений и наружных установок.

Наименование помещений, наружных установок и оборудования	Категория взрывопожарной и пожарной опасности по СП 12.13130.2009, по № 384-ФЗ	Классификация взрывоопасных и пожароопасных зон			Границы взрывоопасной зоны	
		По № 123-ФЗ от 22.07.08 г.	по ПУЭ			По ПБ 08-624-03
			Класс взрывоопасной или пожароопасной зоны	Категория и группа взрывоопасных смесей		
1 Аппарат теплообменный	АН	0	В-1г	IIA-T3		Зона В-1г (ПУЭ): 3 м по горизонтали и вертикали от аппарата
					1	Зона 1 (ПБ 08-624-03): 1,5 м по горизонтали и вертикали от фланцевых соединений аппарата с трубопроводами,
					2	Зона 2 (ПБ 08-624-03): 1,5м по вертикали, 5,5 м по горизонтали от зоны 1 высотой 1 м
2 Запорная арматура, установленная на трубопроводах, проложенных на эстакаде, и открытых площадках	АН	0	В-1г	IIA-T3		Зона В-1г (ПУЭ): 3 м по горизонтали и вертикали от запорной арматуры;
					1	Зона 1 (ПБ 08-624-03): 1,5 м по горизонтали и вертикали от запорной арматуры;
					2	Зона 2 (ПБ 08-624-03): 1,5м по вертикали, 5,5 м по горизонтали от зоны 1 высотой 1 м

Наружное пожаротушение проектируемого объекта предусматривается передвижной пожарной техникой.

Тушение возможных пожаров на проектируемом объекте будет осуществлять Опорный пункт пожаротушения (ОППТ) «Игол», расположенный в поселке Игол. Список наличия пожарной техники, средств связи, оборудования ОППТ «Игол» приведен в приложении Л.

На ЦПС Игольско-Талового месторождения расположены существующие сооружения обеспечивающие площадку, в том числе проектируемый объект, системой наружного водяного пожаротушения: насосная станция пожаротушения, резервуары противопожарного запаса воды $V=400 \text{ м}^3$ (2 шт.), противопожарный водопровод с надземными и подземными пожарными гидрантами.

Наружное пожаротушение проектируемых сооружений осуществляется от пожарных гидрантов, установленных на существующей кольцевой сети противопожарного водопровода.

Подробное описание системы пожаротушения приведено в томе 5.2 «Система водоснабжения», 2540-ИОС2, описание решений по обеспечению пожарной безопасности - в томе 2540-ПБ «Мероприятия по обеспечению пожарной безопасности».

Мероприятия и решения по обеспечению взрывопожаробезопасности направлены, в первую очередь, на недопущение образования взрывоопасных концентраций паровоздушных смесей и источников зажигания.[12]

Противопожарные технические решения

В проектной документации предусмотрены (в дополнение к перечисленным в п. 3.1.5) следующие меры пожарной безопасности:

- объект запроектирован с учетом категории помещений и наружных сооружений при соблюдении действующих норм и правил;
- используемое электрооборудование, средства КИПиА, устройства сигнализации и связи, предназначенные для использования во взрывоопасных зонах, приняты взрывозащищенного исполнения и

- имеют уровень защиты, соответствующий классу взрывоопасной зоны, и вид взрывозащиты, соответствующий категории и группам взрывоопасных смесей;
- выполнена защита оборудования, арматуры и трубопроводов от статического электричества;
 - выполнена молниезащита;
 - теплообменный аппарат испытан на предприятии-изготовителе и соответствует по уровню безопасности и надежности мировым стандартам;
 - материальное исполнение оборудования, трубопроводов, арматуры соответствует климатическим условиям эксплуатации;
 - класс герметичности затворов запорной арматуры в системах с взрывопожароопасными средами – «А» по ГОСТ 9544-2005 «Арматура трубопроводная запорная. Классы и нормы герметичности затворов»;
 - оборудование, арматура, фланцевые соединения, прокладочные материалы, крепежные изделия выбраны с учетом максимально возможного давления в системе;
 - предусмотренное расположение технологических трубопроводов на площадке ЦПС исключает их повреждение автомобильной техникой;
 - соединения трубопроводов выполнены сваркой, фланцевые соединения используются в местах установки арматуры и в местах присоединения к оборудованию;
 - тепловая изоляция трубопроводов принята из негорючих материалов;
 - толщина стенки трубопроводов выбрана с учетом прибавки на коррозию, теплообменный аппарат выполнен в коррозионностойком материальном исполнении;
 - объем КИПиА позволяет полностью держать под контролем технологический процесс подогрева водонефтяной эмульсии.

Противопожарные мероприятия при эксплуатации

При текущем обслуживании оборудования, трубопроводов и при производстве ремонтных работ следует применять инструменты, изготовленные из материала, не дающего искр при работе (омедненные, из бериллиевой бронзы). Допускается, как исключение, использование стальных инструментов, рабочие поверхности которых густо смазаны солидолом.

Асбестовую ткань (кошму, войлок) предусмотрено хранить в металлических футлярах с крышками.

Отогревать замерзшую аппаратуру, арматуру, трубопроводы разрешается только паром или горячей водой.

Территорию вдоль трубопроводов предусмотрено регулярно очищать от сухой травы и листьев.

Промасленный, либо пропитанный горючими жидкостями обтирочный материал, необходимо собирать в специальную металлическую тару (ящики, бачки) с плотно закрывающимися крышками. Тара с использованным обтирочным материалом должна передаваться ООО «Стрежевская Сервис-Экология» для размещения на полигоне твердых бытовых отходов (ТБО) поселка Игол.

Смазочные материалы транспортируются в герметично закрытых емкостях (цистернах, бочках и т.п.).

При случайном или аварийном разливе горючих жидкостей на грунт принимаются меры по механическому удалению пролитой жидкости, перечисленные в п 3.1.7.

В соответствии с ПБ 08-624-03 «Правила безопасности в нефтяной и газовой промышленности» должен быть дополнен существующий План ликвидации аварий (ПЛА) на УПСВ-4 с учетом ввода в работу теплообменного оборудования.

Существующий ПЛА дополняется конкретными возможными аварии и условиями опасными для жизни людей, свойственные для теплообменного оборудования, с указанием мест их возникновения.[12]

8.3.2 Описание и характеристики системы оповещения о ЧС

При возникновении аварий на объекте возможен значительный материальный ущерб, а в некоторых случаях и человеческие жертвы. Поэтому большое значение имеет эффективно действующая система оповещения персонала, как обслуживающего сооружения, так и принимающего участие в ликвидации аварийной или чрезвычайной ситуации.

Для оповещения об аварии служб и персонала промысла, территориальных органов по делам ЧС, вышестоящих организаций, ведомственных, правоохранительных, природоохранных и прочих служб предусмотрена возможность выхода диспетчеров РИТС Игольского региона и РИТС поселка Пионерный на внешние сети радиосвязи.

Информация об аварии на объекте может поступить:

- от первого увидевшего (оператора, постового охраны);
- по каналам пожарной сигнализации, выведенной на пульт диспетчера;
- от оператора, нарушившего технологический режим.

Каждый исполнитель при обнаружении критических неисправностей, утечек, разрывов трубопроводов во время технического обслуживания и ремонта, должен выполнить следующее:

- незамедлительно сообщить диспетчеру, мастеру о месторасположении и характере неисправности;
- предупредить окружающих об опасности, выставить на безопасном расстоянии вокруг поврежденного оборудования, трубопровода

предупредительные знаки, а при имеющейся возможности, организовать постоянное дежурство.

При получении информации от сторонних организаций или частных лиц о каких-либо происшествиях исполнители работ должны принять меры по осмотру места и характера неисправности и действовать в установленном порядке.

Утечка нефти может быть обнаружена приборами-газоанализаторами, а также визуально по следующим характерным признакам:

- изменению цвета растительности, почвы;
- потемнению снежного покрова.

Персонал, обнаруживший аварию, в первую очередь посредством радиотелефонной связи извещает оператора ЦППН-5. Оператор ЦППН-5 о возможной причине, масштабе аварии информирует диспетчера РИТС Игольского региона. Диспетчер РИТС Игольского региона информирует диспетчера РИТС поселка Пионерный, диспетчера ЦИТС, пожарную охрану (ОППТ «Игол»), медпункт. Далее оповещение об аварии ведут диспетчер РИТС поселка Пионерный и диспетчер ЦИТС согласно утвержденным схемам. Принятые схемы оповещения включают в себя очередность оповещения подразделений управляемого общества и специальных служб.

ЦИТС координирует действия подразделений управляемого общества в проведении работ по ликвидации аварий, осложнений их последствий, обеспечивает привлечения необходимых трудовых, материально-технических ресурсов и техники, в том числе сервисных организаций.

Для оповещения об аварии служб и персонала в качестве оперативной связи между диспетчерами (операторами) ЦППН-5, РИТС Игольского региона и РИТС поселка Пионерный, ЦИТС, персоналом, обслуживающим сооружения проектируемого объекта, используется связь посредством имеющихся мобильных и переносных радиостанций.[12]

Решения по обеспечению беспрепятственной эвакуации людей с территории объекта

В случае ЧС природного или техногенного характера эвакуация персонала с территории объекта осуществляется в поселок Игол (0,8 км) (приложения В, Г, графическая часть 2540-ГОЧС.ГЧ-03) по дороге с твердым покрытием.

При авариях, сопровождающихся загазованностью территории объекта, персонал, не участвующий в ликвидации аварии, выходит кратчайшими безопасными путями из зоны загазованности и затем эвакуируется в вахтовый поселок Игол.[12]

Решения по обеспечению беспрепятственного ввода и передвижения на проектируемом объекте сил и средств ликвидации последствий аварий

Доставка материальных средств для ликвидации последствий аварий на объекте осуществляется из средств бригады ЦТОРТ и ЛПА-3, а так же со складов № 42а (поселок Пионерный) и № 42 (поселок Катыльга) автомобильным транспортом.

Персонал НАСФ (звено № 6) к месту аварии доставляется из поселка Игол (0,8 км).

Направление передвижения сил и средств ликвидации последствий аварий до мест возможных аварий представлены в приложениях В, Г, графической части 2540-ГОЧС.ГЧ-03.[12]

Заключение

В результате проделанной работы были проведены технологические расчеты, целью которого является определение поверхности теплообмена, а также подбор штуцеров.

Конструктивно - механический расчет, где была рассчитана прочность цилиндрической обечайки и эллиптического днища, был произведен расчет на укрепления отверстий, выяснили, что укрепление отверстий не требуется, была проведена проверка фланцевых соединений на прочность и герметичность и подобраны седловые опоры.

Произведен гидравлический расчет данного теплообменника. Рассчитана масса аппарата.

По расчетам был построен чертеж "ФЮРА.001.000 ВО"

Список используемой литературы:

1. Павлов К.Ф, Романков П.Г., Носков А.А. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии: Учебное пособие для вузов 14-е изд., стереотипное. - М.: ООО ИД «Альянс», 2007. 576 с.
- 2.Справочник химика. Том 1. Общие сведения, строение вещества, свойства важнейших веществ, лабораторная техника. / Под ред. Б.П. Никольского — М.-Л.: Химия, 1966 — 1071 с.
- 3.Н.Б.Варгафтик, Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей, Москва, 1972 г.
- 4.Б.П.Никольский, Справочник химика/ Том 1/ Общие сведения, строение вещества, свойства важнейших веществ, лабораторная техника/ Ленинград, Москва,1966 год.
- 5.Дытнерский Ю.И. Основные процессы и аппараты химической технологии: Пособие по проектированию - 5-е изд., стереотипное. - М.: ООО ИД «Альянс», 2010. 496 с.
- 6.О.К.Семакина. Машины и аппараты химических производств. Учебное пособие/часть 1/ Томск 2003.
- 7.ГОСТ 8732-78. Трубы стальные бесшовные горячедеформированные.
- 8.ГОСТ Р 52857.1-2007 Общие требования.
9. ГОСТ Р 52857.2-2007. Нормы и методы расчета. Расчет цилиндрических и конических обечаек, выпуклых и плоских днищ и крышек.
10. Генкин А.Э./Оборудование химических заводов: учебник для техникумов,3-е изд. перераб. и доп.-е/Москва 1978 год

11.Лацинский А.А., Толчинский А.Р. Основы конструирования и расчета химической аппаратуры. М.: ООО ИД «Альянс», 2008. 752 с.

12. ГОСТ 30780-2002 Компенсаторы сильфонные и линзовые