

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

Институт электронного обучения

Специальность Машины и аппараты химических производств

Кафедра Общей химии и химической технологии

ДИПЛОМНЫЙ ПРОЕКТ

Тема работы
Разработка основного оборудования цеха подготовки сырья и отгрузки продуктов пиролиза углеводородов нефти производства мономеров.

УДК 665.642.002.5

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5001	Мокрушин Виктор Александрович		

Руководитель

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

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

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

По разделу «Социальная ответственность»

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

По разделу «Механо-технологический раздел»

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

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

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

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

Группа	ФИО
3-5001	Мокрушину Виктору Александровичу

Институт	Институт электронного обучения	Кафедра	Общей химии и химической технологии
Уровень образования	Инженер	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	<i>Цех подготовки сырья и отгрузки продуктов пиролиза углеводородов нефти.</i>
--	--

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<p>1. Производственная безопасность</p> <p>1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</p> <p>1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</p> <p style="text-align: center;">—</p>	<p>1.1. Выявлены вредные факторы:</p> <ul style="list-style-type: none"> - наличие шума в рабочих помещениях. Акустическая обработка помещений, применение звукоизоляции, (СИЗ) беруш и наушников. - недостаточное освещение рабочей зоны. Правильное планирование помещений и расчёт освещения. - понижение или повышение температуры воздуха рабочей зоны при работе на установке. <p>Выдача средств СИЗ, спецодежда, перчатки, противогаз фильтрующий, самоспасатель (ПДУ-3).</p> <ul style="list-style-type: none"> - повышенная загазованность воздуха рабочей зоны при разгерметизации аппаратов. <p>1.2. Выявлены опасные факторы:</p> <ul style="list-style-type: none"> - опасность поражения электрическим током. <p>Недоступностью токоведущих частей; надлежащей, а в отдельных случаях повышенной (двойной) изоляцией; заземлением или занулением корпусов электрооборудования и элементов электроустановок, могущих оказаться под напряжением; надежным и быстродействующим</p>
---	--

	<p>автоматическим защитным отключением.</p> <ul style="list-style-type: none"> - опасность взрыва и пожара. <p>Электропроводку во избежание возникновения короткого замыкания, способного привести к пожару, изолируют. Изолируют от влаги розетки, расположенные в санузлах и на внешних стенах. Устанавливают автоматические предохранители.</p>
2. Экологическая безопасность:	<p>Воздействие на атмосферу в виде выброса газовой фракции, защиты.</p> <ul style="list-style-type: none"> - сбросы от предохранительных клапанов производятся в факельную систему; - сброс продувочных газов, содержащих взрывопожароопасные и вредные вещества, предусмотрен в факельную систему; - на технологических трубопроводах установлена межблочная отсечная арматура с дистанционным управлением для отключения оборудования в случае аварии.
3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	<p>Отключение электроэнергии.</p> <p>Прекращение подачи воздуха КИП.</p> <p>Прекращение подачи азота.</p> <p>Прекращение подачи теплофикационной воды (в холодное время года).</p> <p>Загазованность вследствие разгерметизации оборудования.</p> <p>Пожар.</p> <p>Землетрясение по регламенту ПСОППУН.</p>
4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:	<p>При работе с газовой фракцией необходимо соблюдать меры предосторожности по регламенту «Производство цеха ПСОППУН».</p>

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

Задание выдал консультант:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5001	Мокрушин Виктор Александрович		

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

Студенту:

Группа	ФИО
3-5001	Мокрышину Виктору Александровичу

Институт	Электронного обучения	Кафедра	Общей химии и химической технологии
Уровень образования	Инженер	Направление/специальность	Машины и аппараты химических производств

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

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

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<p>1. <i>Оценка коммерческого и инновационного потенциала проекта</i></p>	<p><i>Проведение предпроектного анализа. Определение целевого рынка и проведение его сегментирования. Выполнение SWOT-анализа проекта</i></p>
<p>2. <i>Разработка устава научно-технического проекта</i></p>	<p><i>Определение целей и ожиданий, требований проекта. Определение заинтересованных сторон и их ожиданий.</i></p>
<p>3. <i>Планирование процесса управления проектом: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок</i></p>	<p><i>Определение производственной мощности.</i></p> <p><i>Расчет сырья, материалов, оборудования, фонда оплаты труда.</i></p> <p><i>Расчет себестоимости готового продукта.</i></p> <p><i>Расчет точки безубыточности.</i></p>
<p>4. <i>Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности</i></p>	<p><i>Проведение оценки экономической эффективности цеха подготовки сырья и отгрузки продуктов пиролиза углеводородов нефти производства мономеров.</i></p>

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

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

Задание выдал консультант:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5001	Мокрушин Виктор Александрович		

Содержание

Реферат.....	9
Abstract.....	10
Введение.....	11
1 Технико-экономическое обоснование.....	12
2 Технология производства.....	14
2.1 Описание технологической схемы.....	14
2.2 Технологический расчет конденсатора кожухотрубчатого поз. Т-20/2.....	16
2.2.1 Задачи и условия расчета. Исходные данные.....	16
2.2.2 Технологический расчет теплообменника.....	17
2.2.3 Конструктивный расчет теплообменника.....	20
2.2.4 Подбираем стандартный теплообменник.....	22
3 Конструктивно механический раздел.....	23
3.1 Механический расчет теплообменника поз. Т-20/2.....	23
3.1.1 Определение температурных напряжений в трубах и корпусе.....	27
3.1.2 Прибавки к расчетным толщинам конструктивных элементов.....	29
3.1.3 Расчет давлений.....	30
3.1.4 Расчет толщины стенки распределительной камеры.....	33
3.1.5 Расчет толщины стенки крышки корпуса.....	35
3.1.6 Расчет толщины стенки со стороны плавающей головки.....	37
3.1.7 Расчет толщины крышки плавающей головки.....	39
3.1.8 Укрепление отверстий патрубков штуцеров.....	40
3.1.9 Подбор стандартного фланцевого соединения кожуха распределительной камеры.....	44
3.1.10 Расчет трубной решетки.....	58
3.1.11 Расчет веса аппарата.....	72
3.2 Механический расчет емкости для хранения метанольной воды поз. Е-31/1.....	75

3.2.1	Расчет давления.....	78
3.2.2	Расчет толщины стенки цилиндрической обечайки (кожуха).....	79
3.2.3	Расчет эллиптического днища.....	80
3.2.4	Подбор стандартных штуцеров.....	82
3.2.5	Расчет укрепления отверстия патрубка штуцера люка – лаза.....	92
3.2.6	Расчет прочности плоской крышки люка-лаза.....	95
3.2.7	Расчет веса аппарата.....	97
3.2.8	Подбор стандартных опор аппарата.....	98
3.2.9	Определение расчетных усилий.....	102
3.2.10	Проверка условий устойчивости.....	108
3.3	Механический расчет разделителя метанольной воды углеводородного сырья поз. Е-31/2.....	113
3.3.1	Расчет давления.....	115
3.3.2	Расчет толщины стенки цилиндрической обечайки (кожуха).....	116
3.3.3	Расчет эллиптического днища.....	118
3.3.4	Подбор стандартных штуцеров.....	119
3.3.5	Укрепление отверстий патрубков.....	121
3.3.6	Расчет веса аппарата.....	123
3.3.7	Подбор стандартных опор аппарата.....	124
3.3.8	Подбор стандартного фланцевого соединения между крышкой и обечайкой.....	126
4	Монтаж оборудования.....	127
4.1	Выбор метода монтажа.....	128
4.2	Расчет траверсы.....	129
4.3	Расчет полиспаста.....	131
4.4	Расчет строп.....	132
4.5	Подбор крана.....	133
5	Автоматический контроль и управление технологическим процессом....	134
5.1	Автоматизация производства.....	134
5.2	Описание схемы автоматизации.....	135

5.3 Технологический контроль.....	138
6 Социальная ответственность.....	140
6.1 Производственная безопасность.....	141
6.1.1 Описание вредных веществ, источники возникновения, воздействие на человека.....	142
6.1.2 Описание опасных факторов, источники возникновения воздействия на человека и предлагаемые средства защиты.....	146
6.2 Экологическая безопасность.....	147
6.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	149
6.4 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.....	157
7 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.	159
Список литературы.....	179
Спецификация	

РЕФЕРАТ

В представленном дипломном проекте рассмотрена технология приема, хранения и выдачи, смеси пропана - бутана технического (СПБТ).

Проведено описание технологического процесса.

Выполнен технологический и конструктивный расчет теплообменного аппарата, разделителя жидкости, сборника метанольной воды, подобраны соответствию с требованиями ГОСТов.

Описана автоматизация процесса приема, хранения, выдачи, смеси пропана - бутана технического.

Рассмотрены вопросы монтажа теплообменного аппарата.

В связи с применением в технологии пожаро-взрывоопасных газовых фракций, в проекте рассмотрены вопросы социальной ответственности.

Рассчитаны затраты на производство и реализацию (СПБТ).

Дипломный проект состоит из графической части и пояснительной записки.

Графическая часть содержит 2 листа формата А1х3, 1 лист формата А0, 4 листа форматом А1.

Пояснительная записка содержит 181 лист формата А4, 38 таблиц, список литературы содержит 26 источников.

ABSTRACT

In the presented thesis project examined technology acceptance, storage and issue, mixture of propane-butane (LPG).

We present the description of the process.

Implemented process and design calculation of heat exchanger, liquid separator, collector methanol water, selected according to requirements Gostov.

Describes the automation of the process of receiving, storing, issuing, propane-butane technical.

Considered are the issues of installation of the heat exchanger.

In connection with the use in technology of fire and explosive gas fractions, the project examined the issues of social responsibility.

Calculated production costs and realisation (LPG).

The degree project consists of a pictorial part and the explanatory notes.

The graphical part contains 2 sheets A1x3, 1sheet A0, 4 sheets, format A1.

The explanatory note contains 181 sheets of A4 size, 38 tables, references, contains 26 sources.

ВВЕДЕНИЕ

Смесь пропана - бутана технического является одним из наиболее широко применяемых продуктов Нефтеперерабатывающей промышленности. Его используют в качестве исходного сырья в производстве мономеров, для переработки в печах пиролиза, где происходит распад на этилен, пропилен, бутилен - бутадиеновой фракции (ББФ).

Такой широкий спектр применения данного продукта обуславливает постоянную потребность в нем предприятий, занимающихся его переработкой.

1 ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ЦЕХА ПОДГОТОВКИ СЫРЬЯ И ОТГРУЗКИ ПРОДУКТОВ ПИРОЛИЗА УГЛЕВОДОРОДОВ НЕФТИ ПРОИЗВОДСТВА МОНОМЕРОВ

Смесь пропана - бутана технического на современном этапе развития технологии представляет огромный интерес как сырье для получения большого числа необходимых продуктов.

В состав технологических сооружений приема и отпуска сжиженных углеводородных газов (СУГ) на газонаполнительном пункте ООО «ТОМСКНЕФТЕХИМ» построенный и введен в эксплуатацию в 1981 г.. входят следующие сооружения и площадки: производства мономеров, площадка емкостей (СПБТ): состоящая из 24 технологических емкостей объемом $V=600 \text{ м}^3$ каждая, предназначенных для накопления и хранения СУГ, поступающие на установку пиролиза углеводородов нефти (401) производства мономеров.

Установка предназначена:

- для слива из железнодорожных вагонов-цистерн пропилена, изобутилена, СПБТ;
- приема по трубопроводам с установки разделения пирогаза Производства мономеров пропилена и ББФ;
- хранения пропилена, изобутилена, ББФ, СПБТ;
- выдачи потребителям по трубопроводам пропилена, изобутилена, СПБТ;
- отгрузки в железнодорожные вагоны-цистерны ББФ.

Мощность производства приведена в таблице 1.1

Т а б л и ц а 1.1

Наименование продукта	Количе ство резерв уаров	Объёмная вместимость одного резервуара, м ³	Объёмная вместимость резервуарного парка, м ³	Массовая вместимость от температуры продукта, т		Примечание
				зима	лето	
Пропилен	4	600	2400	1152- 1212	1152- 1088	
Изобутилен	2	50	100	50		
СПБТ	8	600	4800	1745		
ППФ	4	600	2400	1020- 1092	1020- 944	
ББФ	8	600	4800	2330- 2440	2330- 2208	

2 ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА

2.1 Описание технологической схемы

Компримирование азота и паров СУГ для проведения сливо-наливных операций, перемещения СУГ перекачиванием, поддержания норм технологического режима при хранении пропилена и СПБТ, а так же при проведении откачки паров СУГ производится при помощи компрессоров К-4/1-4.

Компрессоры К-4/1-4 предназначены для компримирования паров пропилена и СПБТ.

Кроме того, компрессорами К-4/3,4 осуществляется компримирование азота для перемещения СУГ перекачиванием при проведении операций налива ББФ в вагоны-цистерны, слив изобутилена из вагонов-цистерн, а также при подаче изобутилена потребителям.

Перед поступлением в компрессор пары СУГ проходят ресивер и фильтр. Компримированные пары проходят маслоотделитель и сепаратор. На отделителях жидкости Е-2/1-4 и сепараторах Е-6/1-4 установлены манометры и предохранительные клапаны (величина установочного давления равна 1,9 МПа (19 кгс/см²)). Предусмотрена возможность подачи азота на отделители жидкости Е-2/1-4 и сепараторы Е-6/1-4 через съемные участки трубопроводов. Из нижней части ресиверов, маслоотделителей и сепараторов предусмотрены дренажные трубопроводы для удаления жидкости в бак продувок Е-7. Дренаживание жидкости из нижней части ресиверов, маслоотделителей и сепараторов компрессоров К-4/1-4 осуществляется периодически перед пуском компрессоров. Бак продувок Е-7 оборудован манометром и предохранительным клапаном (величина установочного давления равна 1,8 МПа (18,0 кгс/см²)). Пары углеводородов, образующиеся при испарении жидкой фазы СУГ, удаляются из бака продувок Е-7 на факел открытием арматуры № 107. Масло по мере накопления периодически

сливается через дренаж в нижней части бака в емкость временного хранения отработанного масла с последующим вывозом.

Трубопроводы 209 б/2, 220 б/2, предназначенные для подачи паров СУГ во всасывающий трубопровод компрессоров, обогреваются теплоспутниками для исключения возможной конденсации паров СУГ.

На ЦПУ предусмотрена световая и звуковая сигнализация наличия уровня жидкой фазы во всасывающем трубопроводе компрессоров К-4/2-4 - более 0,1 м, поз. LA-K4/2-4; уровней в сепараторах Е-2/1-4 - более 60 % (0,6 м), поз. LIRSA-E2/1-4.

2.2 Технологический расчет конденсатора кожухотрубчатого поз. Т-20/2

2.2.1 Задача и условия расчета. Исходные данные

СПБТ с температурой 100°C поступает в межтрубное пространство конденсатора Т-20/2, проходя по межтрубному пространству газ охлаждается до 40°C водой. Вода проходит по трубному пространству конденсатора поступая с температурой 20°C вода нагревается до 60°C за счет теплообмена между двумя теплоносителями. Теплоносители движутся противотоком, что обеспечивает более интенсивный теплообмен.

- холодный теплоноситель: вода.
- горячий теплоноситель: СПБТ.

Горячий теплоноситель проходит по межтрубному пространству теплообменника.

Холодный теплоноситель проходит по трубному пространству теплообменника.

Исходные данные

Рабочее давление в межтрубном пространстве теплообменника:

$$P_1 := 1.8 \text{ МПа}$$

Рабочее давление в трубном пространстве теплообменника:

$$P_2 := 0.6 \text{ МПа}$$

Начальная температура горячего теплоносителя (СПБТ):

$$t_{1Н} := 100^{\circ}\text{C}$$

Конечная температура горячего теплоносителя (СПБТ):

$$t_{1К} := 40^{\circ}\text{C}$$

Начальная температура холодного теплоносителя (вода):

$$t_{2Н} := 20^{\circ}\text{C}$$

Конечная температура холодного теплоносителя (вода):

$$t_{2к} := 60^{\circ}\text{C}$$

Массовый расход холодного теплоносителя:

$$G_2 := 10.6 \text{ кг/с}$$

2.2.2 Технологический расчет

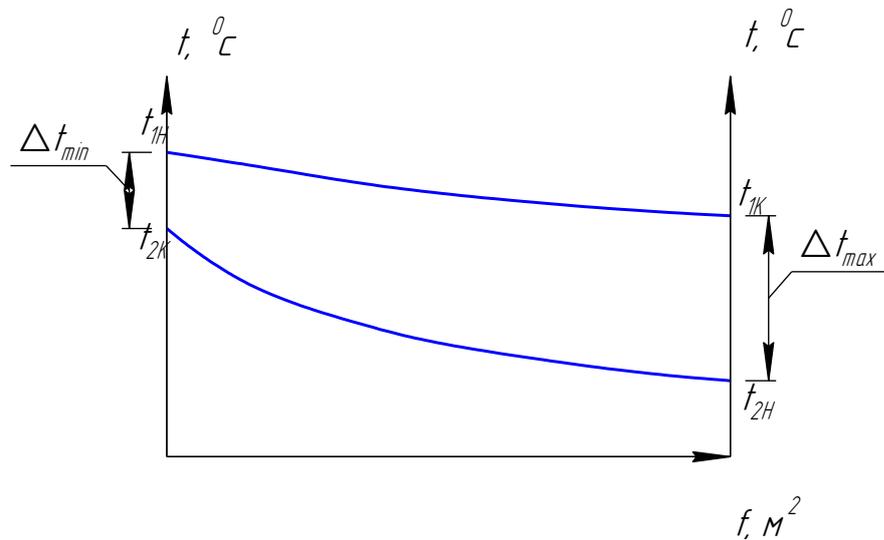


Рисунок 2.1 Диаграмма изменение температуры теплоносителей при движении противотоком

Расчет проводим согласно [1, стр. 214]

Большая и меньшая разность температур на концах теплообменника:

$$\Delta t_{\sigma} := t_{1к} - t_{2н} = 20 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta t_{\text{м}} := t_{1н} - t_{2к} = 40 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Средняя разность температур входящая в уравнение теплоотдачи:

Для противотока:

$$\Delta t_{\text{ср}} := \begin{cases} \Delta t_{\text{ср}} \leftarrow \frac{\Delta t_{\sigma} + \Delta t_{\text{м}}}{2} & \text{if } \frac{\Delta t_{\sigma}}{\Delta t_{\text{м}}} < 2 \\ \Delta t_{\text{ср}} \leftarrow \frac{\Delta t_{\sigma} - \Delta t_{\text{м}}}{\ln\left(\frac{\Delta t_{\sigma}}{\Delta t_{\text{м}}}\right)} & \text{if } \frac{\Delta t_{\sigma}}{\Delta t_{\text{м}}} \geq 2 \end{cases} = 30 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Определение средних температур теплоносителя в трубном пространстве:

$$t_{cp2} := \frac{t_{2к} + t_{2н}}{2} = 40 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Средняя температура для горячего теплоносителя в межтрубном пространстве:

$$t_{cp1} := \Delta t_{cp} + t_{cp2} = 70 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Наименование компонента	Содержание, % масс
Пропан (C ₃ H ₈)	40
Бутан (C ₄ H ₁₀)	60

Таблица 2.2 компонентный состав СПБТ

Свойства СПБТ

Изобарная удельная теплоемкость пропана при рабочем давлении и средней температуре горячего теплоносителя $t_{cp1}=70 \text{ } ^\circ\text{C}$:

$$C_{p_пропан} := \text{Floor} \left[\text{linterp} \left[\left(\begin{array}{c} 0 \\ 100 \end{array} \right), \left(\begin{array}{c} 1549.5 \\ 2016.8 \end{array} \right), t_{cp1}, 0.0005 \right] \right] = 1.877 \times 10^3 \text{ Дж/кг*К}$$

Изобарная удельная теплоемкость бутана при рабочем давлении и средней температуры горячего теплоносителя $t_{cp1}=70 \text{ } ^\circ\text{C}$:

$$C_{p_бутан} := \text{Floor} \left[\text{linterp} \left[\left(\begin{array}{c} 0 \\ 100 \end{array} \right), \left(\begin{array}{c} 1591.8 \\ 2027.3 \end{array} \right), t_{cp1}, 0.0005 \right] \right] = 1.897 \times 10^3 \text{ Дж/кг*К}$$

Теплоемкость СПБТ при температуре $t_{cp1}=70 \text{ } ^\circ\text{C}$:

$$C_{p_СПБТ} := C_{p_пропан} \cdot 0.4 + C_{p_бутан} \cdot 0.6 = 1.889 \times 10^3 \text{ Дж/кг*К}$$

Плотность пропана при $t_{cp1}=70 \text{ } ^\circ\text{C}$:

$$\rho_{пропан} := \text{Floor} \left[\text{linterp} \left[\left(\begin{array}{c} 0 \\ 100 \end{array} \right), \left(\begin{array}{c} 1.967 \\ 1.44 \end{array} \right), t_{cp1}, 0.0005 \right] \right] = 1.598 \text{ кг/м}^3$$

Плотность бутана при $t_{cp1}=70 \text{ } ^\circ\text{C}$:

$$\rho_{бутан} := \text{Floor} \left[\text{linterp} \left[\left(\begin{array}{c} 0 \\ 100 \end{array} \right), \left(\begin{array}{c} 2.593 \\ 1.9 \end{array} \right), t_{cp1}, 0.0005 \right] \right] = 2.107 \text{ кг/м}^3$$

Плотность газа при $t_{cp1}=70^{\circ}\text{C}$:

$$\rho_{\text{СПБТ}} := \rho_{\text{пропан}} \cdot 0.4 + \rho_{\text{бутан}} \cdot 0.6 = 1.904 \text{ кг/м}^3$$

Динамический коэффициент вязкости пропан при $t_{cp1}=70^{\circ}\text{C}$:

$$\mu_{\text{пропан}} := \text{Floor} \left[\text{interp} \left[\begin{pmatrix} 0 \\ 100 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} 7.5 \cdot 10^{-6} \\ 10 \cdot 10^{-6} \end{pmatrix}, t_{cp1}, 0.0000005 \right] \right] = 9 \times 10^{-6} \text{ Па}\cdot\text{с}$$

Динамический коэффициент вязкости бутана при $t_{cp1}=70^{\circ}\text{C}$:

$$\mu_{\text{бутан}} := \text{Floor} \left[\text{interp} \left[\begin{pmatrix} 0 \\ 100 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} 6.84 \cdot 10^{-6} \\ 9.26 \cdot 10^{-6} \end{pmatrix}, t_{cp1}, 0.0000005 \right] \right] = 8.5 \times 10^{-6} \text{ Па}\cdot\text{с}$$

Динамический коэффициент вязкости СПБТ при $t_{cp1}=70^{\circ}\text{C}$:

$$\mu_{\text{СПБТ}} := \mu_{\text{пропан}} \cdot 0.4 + \mu_{\text{бутан}} \cdot 0.6 = 8.7 \times 10^{-6} \text{ Па}\cdot\text{с}$$

Свойства воды

Теплоемкость воды при температуре $t_{cp2}=40^{\circ}\text{C}$:

$$C_{p_вода} := 4174 \text{ Дж/кг}\cdot\text{K}$$

Плотность воды $t_{cp2}=40^{\circ}\text{C}$:

$$\rho_{\text{воды}} := 992.2 \text{ кг/м}^3$$

Динамический коэффициент вязкости воды при $t_{cp2}=40^{\circ}\text{C}$:

[1, стр.516, табл. IX]

$$\mu_{\text{воды}} := 653.3 \cdot 10^{-6} \text{ Па}\cdot\text{с}$$

Количество теплоты с учетом потерь холода 5% (из уравнения теплового баланса):

$$Q := 1.05 \cdot G_2 \cdot C_{p_вода} \cdot (t_{2к} - t_{2н}) = 1.858 \times 10^6 \text{ Вт}$$

Массовый расход горячего теплоносителя: (газ)

$$G_1 := \frac{Q}{C_{p_СПБТ} \cdot (t_{1н} - t_{1к})} = 16.399 \text{ кг/с}$$

Коэффициент теплопередачи: [1, стр. 172, табл. 4.8]

$K=400$ в первом приближений (от конден. пара органических веществ к воде) вынужденное движение.

Ориентировочное значение площади поверхности теплообмена:

$$F_{\text{ор}} := \frac{Q}{K \cdot \Delta t_{\text{ср}}} = 154.855 \text{ м}^2$$

Для дальнейшего расчета зададимся диаметром труб конструктивно, расчет проведем при турбулентном течений воды $Re_2=10000$.

Диаметр труб в трубной решетке 25x2 мм.

Внутренний диаметр труб в трубной решетке: $d_{\text{в}}=0.021$

Наружный диаметр труб: $d_{\text{н}}=0.025$ м

толщина стенки трубы: $S_{\text{тр}}=0.002$ м²

Расчетная скорость теплоносителя, обеспечивающая ламинарное течение воды в трубах:

$$\omega_2 := \frac{Re_2 \cdot \mu_{\text{ВОДЫ}}}{d_{\text{в}} \cdot \rho_{\text{ВОДЫ}}} = 0.314 \text{ м/с}$$

2.2.3 Конструктивный расчет теплообменника

Расчет проводим по [2, стр. 29]

По уравнению расхода определим площадь проходного сечения трубок одного хода:

$$f_1 := \frac{G_2}{\omega_2 \cdot \rho_{\text{ВОДЫ}}} = 0.034 \text{ м}^2$$

Число труб одного хода:

$$n_{\text{тр}} := \text{ceil} \left(\frac{f_1}{0.785 \cdot d_{\text{в}}^2} \right) = 99 \text{ труб}$$

Принимаем стандартное число труб одного хода в теплообменнике:

$n_{\text{тр}}=101$ труба

Коэффициент теплоотдачи воды выше, чем у воздуха: α_1

коэффициент теплоотдачи в трубном пространстве: α_2

коэффициент теплоотдачи в межтрубном пространстве: $d_p = d_H$

При $\alpha_1 > \alpha_2$ диаметр расчетный:

Расчетная длина одной трубки при одном ходе:

$$L_p := \text{ceil}\left(\frac{F_{\text{оп}}}{\pi \cdot d_p \cdot n_{\text{тр}}}\right) = 20 \text{ м}$$

Принимаем рабочую трубу теплообменника:

$$l_p := 6 \text{ м}$$

Число ходов трубного пространства:

$$Z := \text{ceil}\left(\frac{L_p}{l_p}\right) = 4 \text{ ход}$$

Общее число труб, размещаемое на трубной решетке:

$$n := Z \cdot n_{\text{тр}} = 404 \text{ трубы}$$

Трубы размещаются по периметру правильного шестиугольника:

Число труб a , расположенное на стороне наибольшего шестиугольника:

$$a := \text{ceil}\left[\frac{1 + \sqrt{1 - 4 \cdot \left(\frac{1 - n}{3}\right)}}{2}\right] = 13 \text{ труб}$$

Число труб, расположенных по диагонали наибольшего шестиугольника:

$$b := 2 \cdot a - 1 = 25 \text{ труб}$$

$$d_H := 25 \text{ мм}$$

Шаг расположения труб:

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

Коэффициент заполнения трубной решетки:

$$\eta := 0.8$$

Расчетный диаметр теплообменника, четырехходовой:

$$D_{\text{ВН}} := 1.1 \cdot t \cdot \sqrt{\frac{n}{\eta}} = 791.022 \text{ мм}$$

Поверхностная плотность теплового потока:

$$q := K \cdot \Delta t_{cp} = 1.2 \times 10^4 \text{ Вт/м}^2$$

Расчетная площадь поверхности теплопередачи:

$$F_p := \frac{Q}{q} = 154.855 \text{ м}^2$$

С запасом 20%:

$$F_{pz} := \frac{F_p \cdot 20}{100} + F_p = 185.826 \text{ м}^2$$

2.2.4 Подбираем стандартный теплообменник: согласно [1]

Основные характеристики четырехходового теплообменника ТПГ:

Диаметр теплообменника: $D=0.8$ м

Длина труб: $l=6$ м

Поверхность теплообмена: $F=190$ м²

Число труб: $n=404$ трубы

Диаметр трубы внутренний: $d_v=0.021$ м

толщина стенки трубы: $s_{тр}=0.002$ м²

Число рядов труб: $n_p=20$

3 Конструктивно - механический раздел

3.1 Механический расчет теплообменника Т-20/2

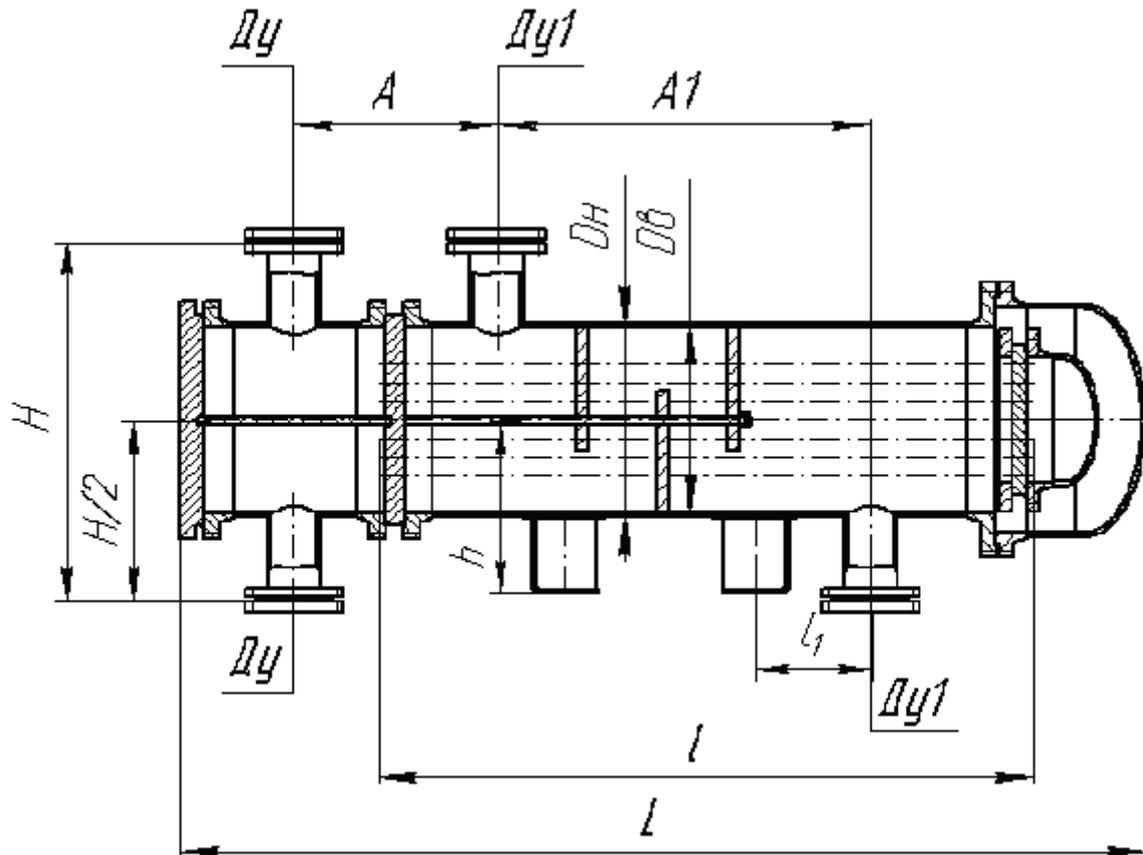


Рисунок 3.1 Горизонтальный холодильник типа XII с плавающей головкой

СПБТ с температурой 100°C поступает в межтрубное пространство конденсатора Т-20/2, проходя по межтрубному пространству газ, охлаждается до 40°C водой. Вода проходит по трубному пространству конденсатора поступая с температурой 20°C вода нагревается до 60°C за счет теплообмена между двумя теплоносителями. Теплоносители движутся противотоком, что обеспечивает более интенсивный теплообмен.

Рассчитываем холодильный аппарат типа кожухотрубчатый, горизонтального исполнения.

- холодный теплоноситель: вода
- горячий теплоноситель: СПБТ

Горячий теплоноситель проходит по межтрубному пространству теплообменника.

Холодный теплоноситель проходит по трубному пространству теплообменника.

Исходные данные

Внутренний диаметр аппарата: $D=800$ мм

Рабочее давление в кожухе: $P_1=1.8$ МПа

Рабочее давление в трубном пространстве: $P_2=0.3$ МПа

Расчетная температура кожуха аппарата: $t_1=100^\circ\text{C}$

Расчетная температура труб аппарата: $t_2=60^\circ\text{C}$

Ускорение свободного падения: $g=9.8$ м/с²

Число труб: $n=404$ трубы [1, стр. 215]

Основные размеры теплообменника:

Длина цилиндрической обечайки: $l=5700$ мм

Длина аппарата: $L=7590$ мм

Длина не отбортованной крышки, согласно [2, стр. 440] $h_B=200$ мм

Длина отбортовки крышки: [2, стр. 440] $h=50$ мм

Длина распределительной камеры: $H_{\text{рас}}=700$ мм

Коэффициент прочности сварных швов (Сварка аппарата полуавтоматическая): $\Phi=1$

Длина шва 100% согласно [3]

Подбираем материал для теплообменника согласно [4]

Исполнение по материалу М17.

Исполнение по материалу	Кожух	Распределительная камера	Теплообменная труба	Трубная решетка
М17	09Г2С	09Г2С	ст10Г2С	09Г2С

Таблица 3.1.1 Материальное исполнение основных узлов теплообменника

Марка: 09Г2С

Классификация: Сталь конструкционная низколегированная для сварных конструкций

Применение: Различные детали и элементы сварных металлоконструкций, работающих при температуре от - 70 до + 425°С под давлением.

Широкое применение стали 09Г2С, - сталь конструкционная низколегированная для сварных конструкций обусловлено особенностями стали 09Г2С, по своим свойствам эта сталь относится к морозостойким сталям, выдерживающим очень низкие эксплуатационные температуры. Сталь 09Г2С применяют в химическом и нефтяном машиностроении, судостроении.

Также марка широко используется для сварных конструкций. Сварка может производиться как без подогрева, так и с предварительным подогревом до 100 - 120°С. Так как углерода в стали мало, то сварка ее довольно проста, причем сталь не закаливается и не перегревается в процессе сварки, благодаря чему не происходит снижение пластических свойств или увеличение ее зернистости. К плюсам применения этой стали можно отнести также, что она не склонна к отпускной хрупкости и ее вязкость не снижается после отпуска. Вышеприведенными свойствами объясняется удобство использования 09Г2С от других сталей с большим содержанием углерода или присадок, которые хуже варятся и меняют свойства после термообработки. Для сварки 09Г2С можно применять любые электроды, предназначенные для низколегированных и малоуглеродистых сталей, например Э42А и Э50А. Если свариваются листы толщиной до 40 мм, то сварка производится без разделки кромок. При использовании многослойной сварки применяют каскадную сварку с током силой 40-50 Ампер на 1 мм электрода, чтобы предотвратить перегрев места сварки. После сварки рекомендуется прогреть изделие до 650°С, далее продержать при этой же температуре 1 час на каждые 25 мм толщины проката, после чего изделие охлаждают на воздухе или в горячей воде – благодаря этому в сваренном изделии повышается твердость шва и устраняются зоны напряженности.

Расшифровка марки 09Г2С: Обозначение 09Г2С означает, что в стали присутствует 0,09% углерода, поскольку 09 идет до букв, далее следует

буква «Г» которая означает марганец, а цифра 2 – процентное содержание до 2% марганца. Далее следует буква «С», которая означает кремний, но поскольку после С цифры нет – это означает содержание кремния менее 1%. Таким образом, расшифровка 09Г2С означает, что перед нами сталь имеющая 0,09% углерода, до 2% марганца, и менее 1% кремния и поскольку общее кол-во добавок колеблется в районе 2,5% то это низколегированная сталь.

Марка: 10Г2С1

Классификация: Сталь конструкционная низколегированная для сварных конструкций

Дополнение: Сталь кремнемарганцовистая

Применение: Барабаны котлов, сосуды, работающие под давлением, и другие детали котлов, работающие при температурах до 450°C

Свариваемость: без ограничений - сварка производится без подогрева и без последующей термообработки ограниченно свариваемая - сварка возможна при подогреве до 100 - 120°C и последующей термообработке

Допускаемое напряжение материала кожуха 09Г2С при температуре 20°C (температура гидроиспытаний): [3, стр.15]

$$\sigma_{\text{тек}20_1} := 300 \text{ МПа}$$

Коэффициент запаса по пределу текучести для условий испытаний:

$$n_t := 1.1$$

Поправочный коэффициент η :

$$\eta = 1$$

Допускаемое напряжение для условий испытаний:

$$\sigma_{\text{и}20_1} := \text{ceil} \left(\eta \cdot \frac{\sigma_{\text{тек}20_1}}{n_t} \right) = 273 \text{ МПа}$$

Допускаемое напряжение материала 09Г2С при рабочей температуре кожуха $t_1=100\text{ }^\circ\text{C}$: [3, стр. 10]

$$\sigma_{Д100} := 177 \text{ МПа}$$

Допускаемое напряжение материала 09Г2С при рабочей температуре кожуха $t_2=60\text{ }^\circ\text{C}$: [3, стр. 10]

$$\sigma_{Д60} := \text{Floor} \left[\text{linterp} \left[\left(\begin{array}{c} 20 \\ 100 \end{array} \right), \left(\begin{array}{c} 196 \\ 177 \end{array} \right), t_2 \right], 0.5 \right] = 186.5 \text{ МПа}$$

Допускаемое напряжение материала труб 10Г2С1 при температуре $20\text{ }^\circ\text{C}$ (температура гидроиспытаний): [3, стр.15]

$$\sigma_{\text{тек}20_2} := 270 \text{ МПа}$$

Допускаемое напряжение для условий испытаний:

$$\sigma_{И20_2} := \text{ceil} \left(\eta \cdot \frac{\sigma_{\text{тек}20_2}}{n_t} \right) = 246 \text{ МПа}$$

Допускаемое напряжение материала 10Г2С1 при рабочей температуре труб $t_2=60\text{ }^\circ\text{C}$ [3, стр. 10]

$$\sigma_{Д60Т} := \text{Floor} \left[\text{linterp} \left[\left(\begin{array}{c} 20 \\ 100 \end{array} \right), \left(\begin{array}{c} 183 \\ 160 \end{array} \right), t_2 \right], 0.5 \right] = 171.5 \text{ МПа}$$

3.1.1 Определение температурных напряжений в трубах и корпусе

Коэффициент линейного расширения кожуха материал 09Г2С при $t_1=100\text{ }^\circ\text{C}$: [3, стр. 23]

$$\alpha_1 := 11.6 \cdot 10^{-6} \text{ } 1/^\circ\text{C}$$

Коэффициент линейного расширения трубы при $t_2=60\text{ }^\circ\text{C}$: материал 10Г2С1 [3, стр. 23]

$$\alpha_2 := 11.6 \cdot 10^{-6} \text{ } 1/^\circ\text{C}$$

Модуль упругости для кожуха: [3, стр. 23]

$$E_1 := 1.91 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

Модуль упругости для труб: [3, стр. 23]

$$E_2 := \text{Floor} \left[\text{linterp} \left[\left(\begin{array}{c} 20 \\ 100 \end{array} \right), \left(\begin{array}{c} 1.99 \cdot 10^5 \\ 1.91 \cdot 10^5 \end{array} \right), t_2, 0.5 \right] \right] = 1.95 \times 10^5 \text{ МПа}$$

Средняя температура труб:

$$t_T := \frac{t_1 + t_2}{2} = 80 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Средняя температура кожуха аппарата:

$$t_K := t_1 = 100 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Температурная разность кожуха и труб:

$$\Delta t := t_K - t_T = 20 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Площадь поперечного сечения всех труб: количество труб $n=404$ [1, стр. 215]

$$d_H := 0.025 \text{ м}$$

$$d_B := 0.021 \text{ м}$$

$$F_T := \frac{\pi \cdot n \cdot (d_H^2 - d_B^2)}{4} = 0.058 \text{ м}^2$$

Площадь поперечного сечения кожуха:

$$F_K := \frac{\pi \cdot [(0.8 + 2 \cdot 0.008)^2 - 0.8^2]}{4} = 0.02 \text{ м}^2$$

Температурные деформации:

$$Q_t := \left| \frac{(\alpha_2 \cdot t_T - \alpha_1 \cdot t_K) \cdot E_1 \cdot E_2 \cdot F_T \cdot F_K}{E_1 \cdot F_T + E_2 \cdot F_K} \right| = 0.678 \text{ МПа}$$

Температурные напряжения в трубах и корпусе:

$$\sigma_T := \left| \frac{\alpha_1 \cdot \Delta t \cdot E_1 \cdot F_K}{F_T + F_K} \right| = 11.435 \text{ МПа}$$

$$\sigma_K := \left| \frac{\alpha_2 \cdot \Delta t \cdot E_2 \cdot F_T}{F_T + F_K} \right| = 33.565 \text{ МПа}$$

Условия температурных деформаций:

$$Us1_1 := \begin{cases} \text{"Условия выполняются"} & \text{if } \sigma_{Д60Т} \geq \sigma_T \\ \text{"Условия не выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases} = \text{"Условия выполняются"}$$

$$Us1_2 := \begin{cases} \text{"Условия выполняются"} & \text{if } \sigma_{Д100} \geq \sigma_K \\ \text{"Условия не выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases} = \text{"Условия выполняются"}$$

Подбираем аппарат с плавающей головкой:

Холодильник с плавающей головкой **800 ХП-1,8-М17/25-6-4-У-И** по ТУ 3612-023-00220302-01.

800 – диаметр кожуха, мм; ХП - холодильник с плавающей головкой;

1,8 – давление в кожухе, МПа; М17-материал исполнения; 25-диаметр теплообменных труб, мм; 6-длина труб, мм; 4- четырехходовой;

У - климатическое исполнение; И - с деталями для крепления изоляции.

3.1.2 Прибавки к расчетным толщинам конструктивных элементов

Прибавку к расчетным толщинам находим согласно [3, стр. 9]

Скорость коррозии материала аппарата:

$$П := 0.1 \text{ мм/год}$$

Срок эксплуатации аппарата:

$$\tau = 12 \text{ лет}$$

Прибавка для компенсации коррозии и эрозии:

$$c_1 = П \cdot \tau = 1.2 \text{ мм}$$

Прибавка для компенсации минусового допуска:

$$c_2 := 0 \text{ мм}$$

Технологическая прибавка:

$$c_3 := 0 \text{ мм}$$

Прибавки к расчетным толщинам конструктивных элементов:

$$c_1 = П \cdot \tau = 1.2 \text{ мм}$$

3.1.3 Расчет давлений

Определить гидростатическое давление в аппарате

Плотность воды при гидроиспытаниях (температура 20°C), [1, стр. 548]

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

Высоту гидростатического столба в аппарате принимаем равной диаметру аппарата:

$$H_{\text{гид}} := \frac{D}{1000} = 0.8 \text{ м}$$

Давление гидростатического столба при гидроиспытаниях: [1, стр. 13]

$$P_{\text{гид}} := \frac{g \cdot H_{\text{гид}} \cdot \rho_{\text{вод}}}{10^6} = 7.824 \times 10^{-3} \text{ МПа}$$

Давление в трубном пространстве

Расчетное давление в трубном пространстве в рабочих условиях: [1]

$$P_{\text{рас2}} := (P_2 + P_{\text{гид}}) = 0.308 \text{ МПа}$$

Давление при гидроиспытаниях: [4]

$$P_{\text{и2}} := 1.25 \cdot P_{\text{рас2}} \cdot \frac{\sigma_{\text{и20}_2}}{\sigma_{\text{Д60т}}} = 0.552 \text{ МПа}$$

Условное давление:

$$P_{\text{усл2}} := P_{\text{рас2}} \cdot \frac{\sigma_{\text{и20}_2}}{\sigma_{\text{Д60т}}} = 0.442 \text{ МПа}$$

Давление в межтрубном пространстве

Расчетное давление:

$$P_{\text{рас1}} := (P_1 + P_{\text{гид}}) = 1.808 \text{ МПа}$$

Давление при гидроиспытаниях: [1]

$$P_{\text{и1}} := 1.25 \cdot P_{\text{рас1}} \cdot \frac{\sigma_{\text{и20}_1}}{\sigma_{\text{Д100}}} = 3.485 \text{ МПа}$$

Условное давление: (межтрубного пространства)

$$P_{\text{усл1}} := P_{\text{рас1}} \cdot \frac{\sigma_{\text{и20}_1}}{\sigma_{\text{Д100}}} = 2.788 \text{ МПа}$$

Давление в распределительной камере

По скольку материал, из которого состоит распределительная камера сталь 09Г2С, а в камере распределяется поток воды по трубному пространству, температура при расчете давлений действующих на распределительную камеру будет учитываться при температуре трубного пространства.

Расчетное давление:

$$P_{\text{рас3}} := (P_2 + P_{\text{гид}}) = 0.308 \text{ МПа}$$

Давление при гидроиспытаниях: [1]

$$P_{\text{из}} := 1.25 \cdot P_{\text{рас3}} \cdot \frac{\sigma_{\text{и20}_1}}{\sigma_{\text{Д60}}} = 0.563 \text{ МПа}$$

Условное давление: (в распределительной камере)

$$P_{\text{усл3}} := P_{\text{рас3}} \cdot \frac{\sigma_{\text{и20}_1}}{\sigma_{\text{Д60}}} = 0.451 \text{ МПа}$$

Расчет толщины стенки цилиндрической обечайки (кожуха):

Расчет проводим [5, стр. 5]

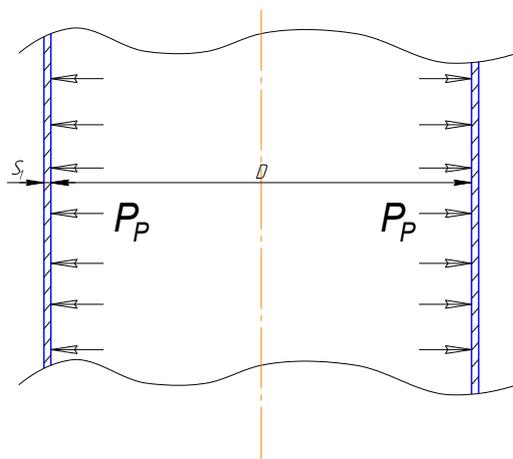


Рисунок 3.2 - Расчетная схема обечайки

Расчетная толщина стенки цилиндрической обечайки при внутреннем избыточном давлении:

$$s_{p1} := \max \left(P_{рас1} \cdot \frac{D}{2 \cdot \phi \cdot \sigma_{Д100} - P_{рас1}}, P_{и1} \cdot \frac{D}{2 \cdot \phi \cdot \sigma_{и20_1} - P_{и1}} \right) = 5.14 \text{ мм}$$

Исполнительная толщина стеки аппарата:

$$s_{и1} := s_{p1} + c = 6.34 \text{ мм}$$

Принимаем толщину для корпуса аппарата:

$$s_1 := 16 \text{ мм}$$

Проверка условий применимости формул без моментной теории:

$$Us1_3 := \begin{cases} \text{"Формулы применимы"} & \text{if } \frac{s_1 - c}{D} \leq 0.1 \\ \text{"Формул НЕ верны"} & \text{if } \frac{s_1 - c}{D} > 0.1 \end{cases} = \text{"Формулы применимы"}$$

Расчет допускаемого внутреннего избыточного давления при рабочих условиях:

$$P_{д1} := \frac{2 \cdot \sigma_{Д100} \cdot \phi \cdot (s_1 - c)}{D + (s_1 - c)} = 6.43 \text{ МПа}$$

Расчет допускаемого внутреннего избыточного давления при условиях испытаний:

$$P_{д2} := \frac{2 \cdot \sigma_{и20_1} \cdot \phi \cdot (s_1 - c)}{D + (s_1 - c)} = 9.918 \text{ МПа}$$

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

$$Us1_4 := \begin{cases} \text{"Условие выполняется"} & \text{if } P_{д1} > P_{рас1} \\ \text{"Условие прочности НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases} = \text{"Условие выполняется"}$$

$$P_{д1} = 6.43 \text{ МПа}$$

$$P_{рас1} = 1.808 \text{ МПа}$$

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

$$Us1_5 := \begin{cases} \text{"Условие выполняется"} & \text{if } P_{д2} > P_{и1} \\ \text{"Условие прочности НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases} = \text{"Условие выполняется"}$$

$$P_{д2} = 9.918 \text{ МПа}$$

$$P_{и1} = 3.485 \text{ МПа}$$

3.1.4 Расчет толщины стенки распределительной камеры

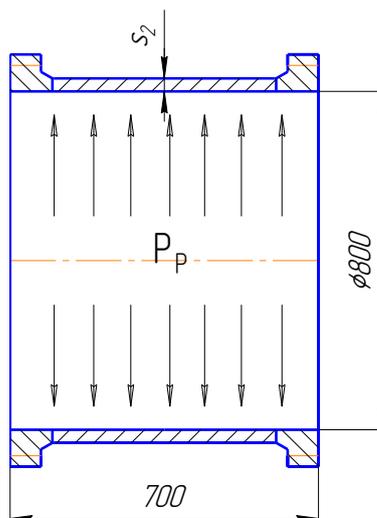


Рисунок 3.3 - Расчетная схема распределительной камеры

Расчетная толщина стенки цилиндрической обечайки при внутреннем избыточном давлении:

$$s_{p2} := \max \left(\left(\begin{array}{l} P_{рас3} \cdot \frac{D}{2 \cdot \phi \cdot \sigma_{Д60} - P_{рас3}} \\ P_{и3} \cdot \frac{D}{2 \cdot \phi \cdot \sigma_{и20_1} - P_{и3}} \end{array} \right) \right) = 0.826 \text{ мм}$$

Исполнительная толщина стенки аппарата:

$$s_{и2} := s_{p2} + c = 2.026 \text{ мм}$$

Принимаем толщину для распределительной камеры:

$$s_2 := 16 \text{ мм}$$

Проверка условий применимости формул без моментной теории:

$$Us1_6 := \begin{cases} \text{"Условия применения формул без момент. теории выполняются"} & \text{if } \frac{s_2 - c}{D} \leq 0.1 \\ \text{"Условия применения формул НЕ выполняются"} & \text{if } \frac{s_2 - c}{D} > 0.1 \end{cases}$$

Us1_6 = "Условия применения формул без момент. теории выполняются"

Расчет допускаемого внутреннего избыточного давления при рабочих условиях:

$$P_{д3} := \frac{2 \cdot \sigma_{Д60} \cdot \phi \cdot (s_2 - c)}{D + (s_2 - c)} = 6.775 \text{ МПа}$$

Расчет допускаемого внутреннего избыточного давления при условиях испытаний:

$$P_{д4} := \frac{2 \cdot \sigma_{И20_1} \cdot \phi \cdot (s_2 - c)}{D + (s_2 - c)} = 9.918 \text{ МПа}$$

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

$$Us1_7 := \begin{cases} \text{"Условие прочности стенки для цилиндр. обечайки выполняется"} & \text{if } P_{д3} > P_{рас3} \\ \text{"Условие прочности НЕ выполняется"} & \text{if } P_{д3} < P_{рас3} \end{cases}$$

Us1_7 = "Условие прочности стенки для цилиндр. обечайки выполняется"

$$P_{д3} = 6.775 \text{ МПа}$$

$$P_{рас3} = 0.308 \text{ МПа}$$

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

$$Us1_8 := \begin{cases} \text{"Условие прочности стенки выполняется"} & \text{if } P_{д4} > P_{И3} \\ \text{"Условие прочности НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Us1_8 = "Условие прочности стенки выполняется"

$$P_{д4} = 9.918 \text{ МПа}$$

$$P_{И3} = 0.563 \text{ МПа}$$

3.1.5 Расчет толщины стенки крышка корпуса

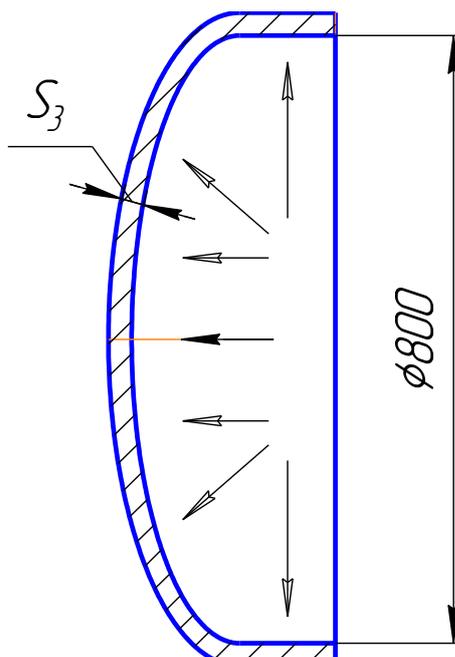


Рисунок 3.4 - Крышка эллиптическая отбортованная стальная

Радиус кривизны в вершине крышки равен: (для эллиптических днищ)

$$R_1 := D = 800 \text{ мм}$$

Расчет толщины стенки крышки под действием внутреннего давления:

$$s_{p3} := \max \left(\left(\begin{array}{l} P_{рас3} \cdot \frac{R_1}{2 \cdot \phi \cdot \sigma_{Д60} - 0.5 \cdot P_{рас3}} \\ P_{из3} \cdot \frac{R_1}{2 \cdot \phi \cdot \sigma_{и20_1} - 0.5 \cdot P_{из3}} \end{array} \right) \right) = 0.826 \text{ мм}$$

Исполнительная толщина стенки аппарата:

$$s_{из3} := s_{p3} + c = 2.026 \text{ мм}$$

Принимаем толщину днища:

$$s_3 := 16 \text{ мм}$$

Проверка условий применимости формул без моментной теории:

$$Us1_9 := \begin{cases} \text{"Условия применения формул выполняются"} & \text{if } 0.002 \leq \frac{s_3 - c}{D} \leq 0.1 \\ \text{"Условия применения формул НЕ выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Us1_9 = "Условия применения формул выполняются"

Расчет допускаемого внутреннего избыточного давления при рабочих условиях:

$$P_{д5} := \frac{2 \cdot \sigma_{Д60 \cdot \phi} \cdot (s_3 - c)}{R_1 + (s_3 - c)} = 6.775 \text{ МПа}$$

Расчет допускаемого внутреннего избыточного давления при условий гидроиспытаний:

$$P_{д6} := \frac{2 \cdot \sigma_{и20_1 \cdot \phi} \cdot (s_3 - c)}{R_1 + (s_3 - c)} = 9.918 \text{ МПа}$$

Проверка условия прочности стенок, крышки от действия внутреннего давления при рабочих условиях:

$$Us1_10 := \begin{cases} \text{"Условие прочности стенки днища выполняется"} & \text{if } P_{д5} > P_{рас3} \\ \text{"Условие прочности НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Us1_10 = "Условие прочности стенки днища выполняется"

$$P_{д5} = 6.775 \text{ МПа} \quad P_{рас3} = 0.308 \text{ МПа}$$

Проверка условия прочности стенок, крышки от действия внутреннего давления при условиях гидроиспытания:

$$Us1_11 := \begin{cases} \text{"Условие прочности стенки днища выполняется"} & \text{if } P_{д6} > P_{и3} \\ \text{"Условие прочности НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Us1_11 = "Условие прочности стенки днища выполняется"

$$P_{д6} = 9.918 \text{ МПа} \quad P_{и3} = 0.563 \text{ МПа}$$

3.1.6 Расчет толщины стенки крышки со стороны плавающей головки

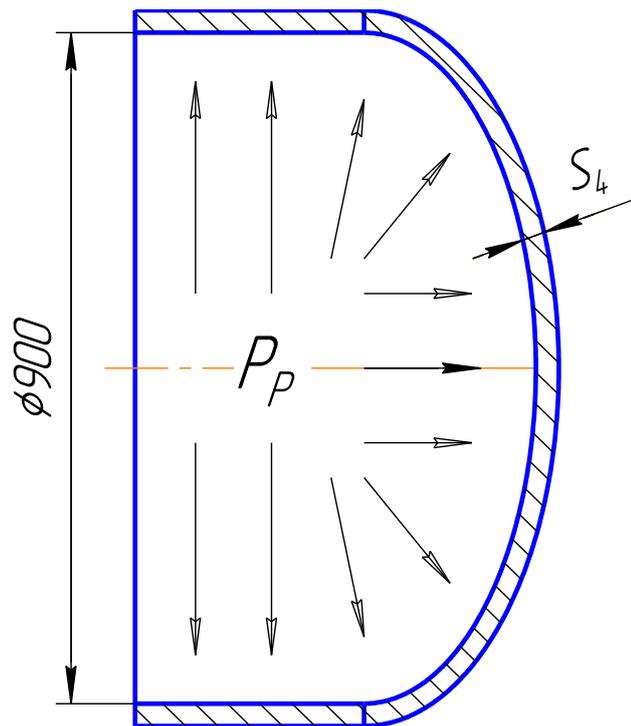


Рисунок 3.5 - Крышка эллиптическая отбортованная стальная со стороны плавающей головки

Радиус кривизны в вершине крышки равен: (для эллиптических днищ):

$$R_2 := 900 \text{ мм}$$

Расчет толщины стенки крышки под действием внутреннего давления:

$$s_{p4} := \max \left(\left(\frac{P_{рас1} \cdot \frac{R_2}{2 \cdot \phi \cdot \sigma_{Д100} - 0.5 \cdot P_{рас1}}}{R_2} \right), \left(\frac{P_{и1} \cdot \frac{R_2}{2 \cdot \phi \cdot \sigma_{и20_1} - 0.5 \cdot P_{и1}}}{R_2} \right) \right) = 5.764 \text{ мм}$$

Исполнительная толщина стенки аппарата:

$$s_{и4} := s_{p4} + c = 6.964 \text{ мм}$$

Принимаем толщину днища:

$$s_4 := 16 \text{ мм}$$

Проверка условий применимости формул без моментной теории:

$$Us1_12 := \begin{cases} \text{"Условия применения формул выполняются"} & \text{if } 0.002 \leq \frac{s_4 - c}{900} \leq 0.1 \\ \text{"Условия применения формул НЕ выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Us1_12 = "Условия применения формул выполняются"

Расчет допускаемого внутреннего избыточного давления при рабочих условиях:

$$P_{д7} := \frac{2 \cdot \sigma_{Д100} \cdot \phi \cdot (s_4 - c)}{R_2 + (s_4 - c)} = 5.727 \text{ МПа}$$

Расчет допускаемого внутреннего избыточного давления при условий гидроиспытаний:

$$P_{д8} := \frac{2 \cdot \sigma_{и20_1} \cdot \phi \cdot (s_4 - c)}{R_2 + (s_4 - c)} = 8.833 \text{ МПа}$$

Проверка условия прочности стенок, крышки от действия внутреннего давления при условиях гидроиспытания:

$$Us1_13 := \begin{cases} \text{"Условие прочности стенки днища выполняется"} & \text{if } P_{д8} > P_{и1} \\ \text{"Условие прочности НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Us1_13 = "Условие прочности стенки днища выполняется"

$$P_{д8} = 8.833 \text{ МПа}$$

$$P_{и1} = 3.485 \text{ МПа}$$

Проверка условия прочности стенок, крышки от действия внутреннего давления при рабочих условиях:

$$Us1_14 := \begin{cases} \text{"Условие прочности стенки днища выполняется"} & \text{if } P_{д7} > P_{рас1} \\ \text{"Условие прочности НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Us1_14 = "Условие прочности стенки днища выполняется"

$$P_{д7} = 5.727 \text{ МПа}$$

$$P_{рас1} = 1.808 \text{ МПа}$$

3.1.7 Расчет толщины крышки плавающей головки

Радиус кривизны в вершине крышки равен: (для эллиптических днищ):

$$R_3 := 700 \text{ мм}$$

Расчет толщины стенки крышки под действием внутреннего давления:

$$s_{p5} := \max \left(\left(\frac{P_{рас3} \cdot \frac{R_3}{2 \cdot \phi \cdot \sigma_{Д60} - 0.5 \cdot P_{рас3}}}{R_3} \right), \left(\frac{P_{из3} \cdot \frac{R_3}{2 \cdot \phi \cdot \sigma_{и20_1} - 0.5 \cdot P_{из3}}}{R_3} \right) \right) = 0.722 \text{ мм}$$

Исполнительная толщина стеки аппарата:

$$s_{и5} := s_{p5} + c = 1.922 \text{ мм}$$

Принимаем толщину днища:

$$s_5 := 24 \text{ мм}$$

Проверка условий применимости формул без моментной теории:

$$Us1_15 := \begin{cases} \text{"Условия применения формул выполняются"} & \text{if } 0.002 \leq \frac{s_5 - c}{700} \leq 0.1 \\ \text{"Условия применения формул НЕ выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Us1_15 = "Условия применения формул выполняются"

Расчет допускаемого внутреннего избыточного давления при рабочих условиях:

$$P_{д9} := \frac{2 \cdot \sigma_{Д60} \cdot \phi \cdot (s_5 - c)}{R_2 + (s_5 - c)} = 9.216 \text{ МПа}$$

Расчет допускаемого внутреннего избыточного давления при условий гидроиспытаний:

$$P_{д10} := \frac{2 \cdot \sigma_{и20_1} \cdot \phi \cdot (s_5 - c)}{R_2 + (s_5 - c)} = 13.49 \text{ МПа}$$

Проверка условия прочности стенок, крышки от действия внутреннего давления при рабочих условиях:

$$Us1_16 := \begin{cases} \text{"Условие прочности стенки днища выполняется"} & \text{if } P_{д9} > P_{рас3} \\ \text{"Условие прочности НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$Us1_16 = \text{"Условие прочности стенки днища выполняется"}$

$P_{д9} = 9.216 \text{ МПа}$

$P_{рас3} = 0.308 \text{ МПа}$

Проверка условия прочности стенок, крышки от действия внутреннего давления при условиях гидроиспытания:

$$Us1_17 := \begin{cases} \text{"Условие прочности стенки днища выполняется"} & \text{if } P_{д10} > P_{из} \\ \text{"Условие прочности НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$Us1_17 = \text{"Условие прочности стенки днища выполняется"}$

$P_{д10} = 13.49 \text{ МПа}$

$P_{из} = 0.563 \text{ МПа}$

3.1.8 Укрепление отверстий патрубков штуцеров согласно [6]

Подбираем стандартные штуцера с фланцами стальными приварными встык, с уплотнительной поверхностью выступ впадина, согласно [7]

По скольку среда внутри аппарата агрессивна, подбираем фланец с уплотнительной поверхностью типа выступ впадина.

Штуцер изготовлен из материала сталь 09Г2С материал такой же, как и материал частей аппарата с которыми он соединен, для избежания увеличения скорости коррозий.

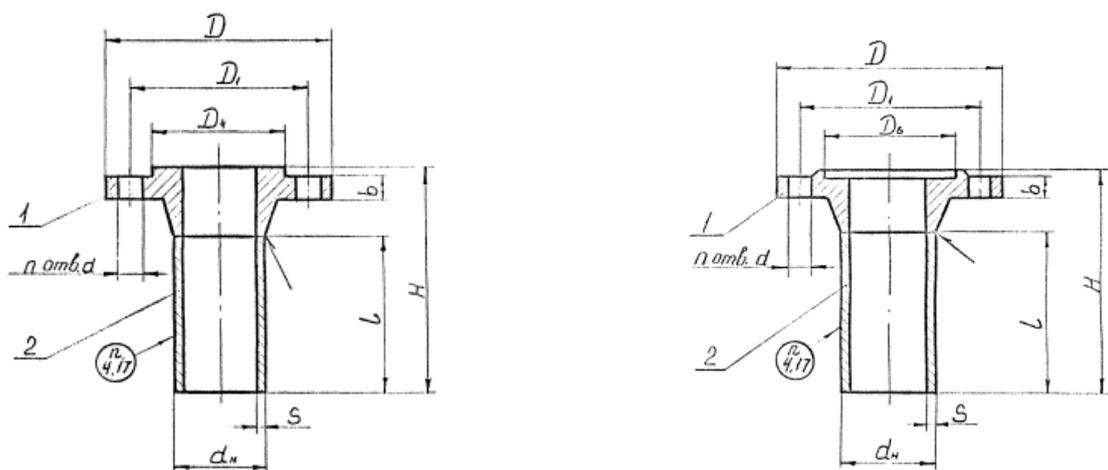


Рисунок 3.6 - штуцер с фланцами, приваренными встык с уплотнительной поверхностью типа выступ впадина

Штуцер 200 - 4,0 - 2 - 2 - 215 - 09Г2С АТК 24.218.06.90

Пример условного обозначения штуцера Ду 200 мм, Ру 4,0 МПа, типа 2, исполнения 2,

l = 215 мм, фланец из стали 09Г2С, патрубок из стали 09Г2С.

Штуцер 250 - 4,0 - 2 - 2 - 215 - 09Г2с АТК 24.218.06.90

Пример условного обозначения штуцера Ду 250 мм, Ру 4,0 МПа, типа 2, исполнения 2,

l = 215 мм, фланец из стали 09Г2С, патрубок из стали 09Г2С.

Обозначения	Наименование	Кол.	Проход условн. Ду мм	Давление условное Ру МПа
А ₁	Вход воды	1	200	4,0
А ₂	Выход воды	1	200	4,0
Б ₁	Вход СПБТ	2	250	4,0
Б ₂	Выход СПБТ	2	250	4,0

Таблица 3.1.2 - Наименование штуцеров

D_y мм	D мм	D_1 мм	D_4 мм	D_6 мм	b мм	d мм	n	d_H мм	S мм
200	375	320	259	260	35	30	12	219	8
250	445	385	312	313	39	33	12	273	10

Таблица 3.1.3 - Параметры штуцеров.

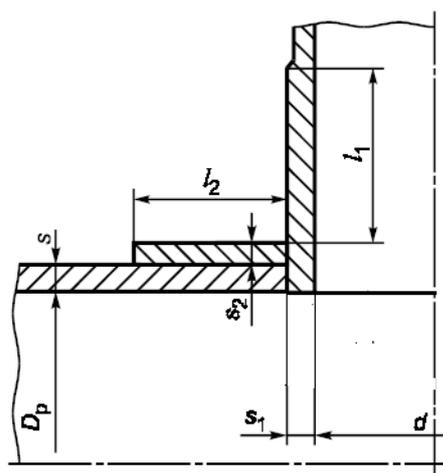


Рисунок 3.7 - Укрепление отверстий при наличии проходного штуцера

Расчет проводим: согласно [6]

Расчетный диаметр укрепляемых элементов:

Для цилиндрической оболочки:

$$D_p := D = 800 \text{ мм}$$

Диаметр отверстий штуцеров входа выхода воды:

$$d_1 := 200 \text{ мм}$$

Диаметр отверстий штуцеров входа выхода СПБТ:

$$d_2 := 250 \text{ мм}$$

Расчетный диаметр отверстий патрубков штуцеров воды:

$$d_{p1} := d_1 + 2 \cdot c = 202.4 \text{ мм}$$

Расчетный диаметр отверстий патрубков штуцеров СПБТ:

$$d_{p2} := d_2 + 2 \cdot c = 252.4 \text{ мм}$$

Условие применимости формул к штуцерам воды:

$$Us1_18 := \begin{cases} \text{"Условия не выполняются"} & \text{if } \frac{d_{p1} - 2 \cdot c}{D} > 1 \wedge \frac{s_2 - c}{D} > 0.1 \\ \text{"Условия применения формул выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Us1_18 = "Условия применения формул выполняются"

Условие применимости формул к штуцерам СПБТ:

$$Us1_19 := \begin{cases} \text{"Условия не выполняются"} & \text{if } \frac{d_{p2} - 2 \cdot c}{D} > 1 \wedge \frac{s_1 - c}{D} > 0.1 \\ \text{"Условия применения формул выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Us1_19 = "Условия применения формул выполняются"

Расчетный диаметр одиночного отверстия, не требующий дополнительного укрепления при наличии избыточной толщины стенки сосуда: (для штуцеров цилиндрической обечайки)

$$d_{01} := 2 \cdot \left[\left(\frac{s_1 - c}{s_{p1}} \right) - 0.8 \right] \cdot \sqrt{D_p \cdot (s_1 - c)} = 452.563 \text{ мм}$$

Расчетный диаметр одиночного отверстия, не требующий дополнительного укрепления при наличии избыточной толщины стенки сосуда: (для штуцеров распределительной камеры)

$$d_{02} := 2 \cdot \left[\left(\frac{s_2 - c}{s_{p2}} \right) - 0.8 \right] \cdot \sqrt{D_p \cdot (s_2 - c)} = 3.725 \times 10^3 \text{ мм}$$

Проверка необходимости укреплять отверстия штуцеров входа и выхода воды, находящихся на распределительной камере.

$$Us1_20 := \begin{cases} \text{"необходимо укрепление отверстия"} & \text{if } d_{p1} > d_{02} \\ \text{"укрепление отверстия не требуется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Us1_20 = "укрепление отверстия не требуется"

$$d_{p1} = 202.4 \text{ мм}$$

$$d_{02} = 3.725 \times 10^3 \text{ мм}$$

Проверка необходимости укреплять отверстия штуцеров входа и выхода воды, находящихся на распределительной камере.

$$Us1_21 := \begin{cases} \text{"необходимо укрепление отверстия"} & \text{if } d_{p2} > d_{01} \\ \text{"укрепление отверстия не требуется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Us1_21 = "укрепление отверстия не требуется"

$$d_{p2} = 252.4 \text{ мм}$$

$$d_{01} = 452.563 \text{ мм}$$

3.1.9 Подбор стандартного фланцевого соединения кожуха и распределительной камеры

Подбираем стандартный фланец согласно [8]

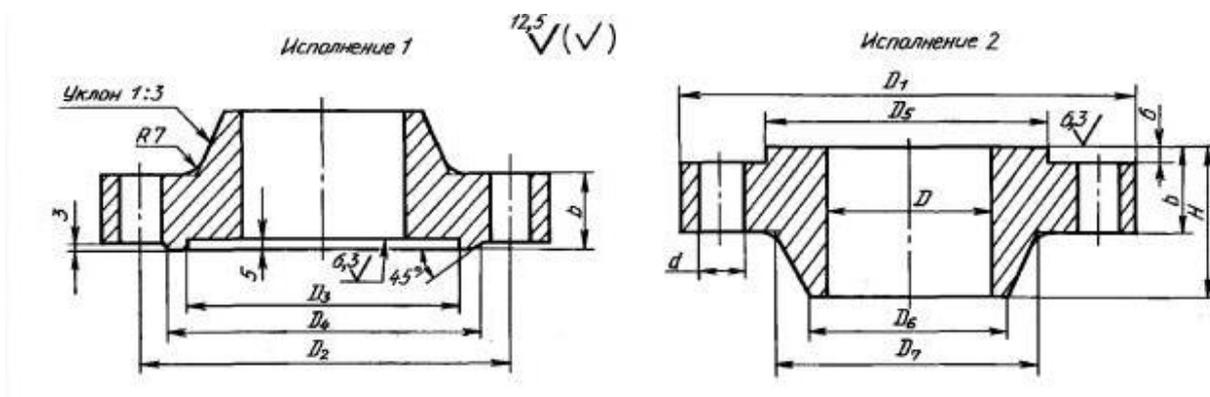


Рисунок 3.8 Фланцевое соединение с приварными в стык фланцами, тип уплотнительной поверхности выступ впадина

Тип фланца: фланцевое соединение с приварными встык фланцам.

Тип уплотнительной поверхности: выступ впадина

Материал фланца: Сталь 09Г2С

D	D ₁	D ₂	D ₃	a	D ₅	A ₁	D ₆	D ₇	b	H	d	Болты		P _y
мм												Диаметр	Кол-во	МПа
800	1005	945	870	20,5	868	18	838	876	75	130	33	М 30	36	4,0

Таблица 3.1.4 - Основные размеры фланцевого соединения

Прочностной расчет фланцевого соединения

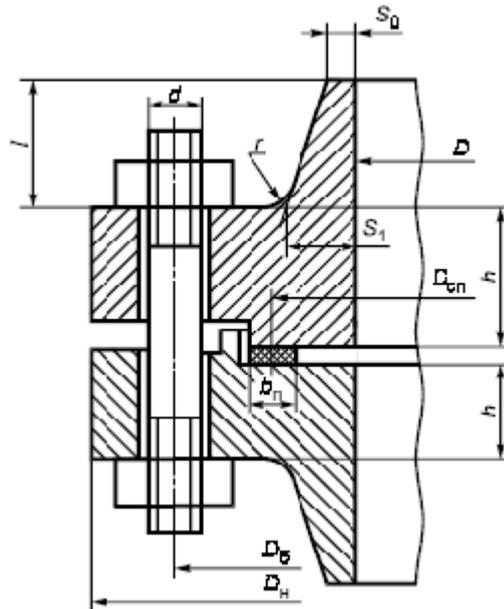


Рисунок 3.9 - Фланцевое соединения с приварными встык фланцами

Тип фланца: фланцевое соединения приварные встык

Тип уплотнительной поверхности: выступ впадина

Расчет проводим [9]

Исходные данные для расчета: взяты из таблицы

Внутренний диаметр: $D=800$ мм

Наружный диаметр фланца: $D_n=1005$ мм

Диаметр болтовой окружности: $D_b=945$ мм

Толщина фланца: $h=75$ мм

Материал обечаек и фланцев - сталь 09Г2С

Материал болтов - сталь 35Х

Материал прокладки - паронит ПОН.

Толщина прокладки: $n_n=3$ мм

Ширина прокладки: $b_n=15$ мм

Диаметр болта: $d=30$ мм

Толщина цилиндрической части втулки принята:

$$s_0 := 16 \text{ мм} \quad s_{5.} := s_1 = 16 \text{ мм}$$

Толщина конической части втулки:

$$s_{1B} := 35 \text{ мм}$$

Высота втулки:

$$h_{B.} := 55 \text{ мм}$$

Средний диаметр прокладки:

$$D_{cп} := 868 - b_{п} = 853 \text{ мм}$$

Количество болтов:

$$n := 36 \text{ болтов}$$

Расчетная температура фланцевого соединения (не изолированного):

$$t_{ф} := 100 \cdot 0.96 = 96 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Расчетная температура болтов:

$$t_{б} := 100 \cdot 0.85 = 85 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Материал для болтов: Сталь 35Х

Допускаемое напряжение материала при температуре 20°C для болта:

$$\sigma_{б20} := 230 \text{ МПа}$$

Допускаемое напряжение материала при рабочей температуре для болта:

согласно [9]

$$\sigma_{б} := \text{Floor} \left[\text{linterp} \left[\left[\begin{pmatrix} 20 \\ 100 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} 230 \\ 230 \end{pmatrix}, t_{б} \right], 0.5 \right] \right] = 230 \text{ МПа}$$

Материал для фланцевого соединения 09Г2С

Допускаемое напряжение материала при гидроиспытаниях для фланцев:

согласно [3]

$$\sigma_{ф20} := \sigma_{и20_1} = 273 \text{ МПа}$$

Допускаемое напряжение материала при рабочей температуре для фланцев:
согласно [3]

$$\sigma_{\phi} := \text{Floor} \left[\text{linterp} \left[\left(\begin{array}{c} 20 \\ 100 \end{array} \right), \left(\begin{array}{c} 196 \\ 177 \end{array} \right), t_{\phi} \right], 0.5 \right] = 177.5 \text{ МПа}$$

Модуль упругости материала болта при температуре 20°C:

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

Модуль упругости материала фланца 09Г2С согласно [3, стр. 23, таблица В1]
для низколегированных сталей, при температуре 20°C:

$$E_{20} := 1.99 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

Модуль упругости материала фланца при рабочей температуре t_{ϕ} :

$$E := \text{Floor} \left[\text{linterp} \left[\left(\begin{array}{c} 20 \\ 100 \end{array} \right), \left(\begin{array}{c} 1.99 \cdot 10^5 \\ 1.96 \cdot 10^5 \end{array} \right), t_{\phi} \right], 0.5 \right] = 1.962 \times 10^5 \text{ МПа}$$

Модуль упругости материала болта при рабочей температуре температуры
 t_{σ} °C (Сталь 35Х теплоустойчивая и коррозионно-стойкая хромистая):

$$E_{\sigma} := \text{Floor} \left[\text{linterp} \left[\left(\begin{array}{c} 20 \\ 100 \end{array} \right), \left(\begin{array}{c} 2.15 \cdot 10^5 \\ 2.15 \cdot 10^5 \end{array} \right), t_{\sigma} \right], 0.5 \right] = 2.15 \times 10^5 \text{ МПа}$$

Температурный коэффициент линейного расширения материала фланцев
09Г2С: согласно [3, стр. 23, таблица Г1]

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

Температурный коэффициент линейного расширения болтов 35Х: согласно
[9, стр. 286, таблица Х1]

$$\alpha_{\sigma} := 13.1 \cdot 10^{-6}$$

Эффективная ширина прокладки:

-для плоских прокладок:

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

Характеристики прокладки по [8, таблице И1]

Прокладочный коэффициент m :

$$m := 2.5$$

Удельное давление обжатия прокладки:

$$q_{\text{обж}} := 20 \text{ МПа}$$

Допускаемое удельное давление:

$$q_d := 130 \text{ МПа}$$

Коэффициент обжатия $K_{\text{обж}}$:

$$K_{\text{обж}} := 0.9$$

Условный модуль сжатия прокладки:

$$E_{\Pi} := 200 \text{ МПа}$$

Усилие, необходимое для смятия прокладки при затяжке:

$$P_{\text{обж}} := 0.5 \pi \cdot D_{\text{сп}} \cdot b_0 \cdot m \cdot |P_{\text{рас1}}| = 9.084 \times 10^4 \text{ Н}$$

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

$$R_{\Pi} := \begin{cases} \pi \cdot D_{\text{сп}} \cdot b_0 \cdot m \cdot P_{\text{рас1}} & \text{if } P_{\text{рас1}} \geq 0 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} = 1.817 \times 10^5 \text{ Н}$$

Площадь поперечного сечений болтов (шпилек): по [8, таблице Д1]

$$f_{\zeta} := 520 \text{ мм}^2$$

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

$$A_{\zeta} := n \cdot f_{\zeta} = 1.872 \times 10^4 \text{ мм}^2$$

Равнодействующая нагрузка от давления:

$$Q_d := \frac{\pi}{4} \cdot (D_{\text{сп}})^2 \cdot P_{\text{рас1}} = 1.033 \times 10^6 \text{ Н}$$

Податливость прокладки:

$$y_{\Pi} := \frac{h_{\Pi} \cdot K_{\text{обж}}}{E_{\Pi} \cdot \pi \cdot D_{\text{сп}} \cdot b_{\Pi}} = 3.358 \times 10^{-7} \text{ мм/Н}$$

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

$$L_{\text{б0}} := 2 \cdot h + h_{\Pi} = 153 \text{ мм}$$

Эффективная длина болта при определении податливости:

$$L_{\text{б}} := \text{ceil}(L_{\text{б0}} + 0.28 \cdot d) = 162 \text{ мм}$$

Податливость болтов:

$$y_{\text{б}} := \frac{L_{\text{б}}}{E_{\text{б20}} \cdot A_{\text{б}}} = 4.025 \times 10^{-8} \text{ мм/Н}$$

Расчетные параметры фланцев:

Параметр длины обечайки:

$$l_0 := \sqrt{D \cdot s_0} = 113.137 \text{ мм}$$

- отношение наружного диаметра тарелки фланца к внутреннему диаметру:

$$K := \frac{D_{\text{н}}}{D} = 1.256$$

- коэффициенты, зависящие от соотношения размеров тарелки фланца

$$\beta_{\text{T}} := \frac{K^2 \cdot (1 + 8.55 \cdot \log(K)) - 1}{(1.05 + 1.945 \cdot K^2) \cdot (K - 1)} = 1.814$$

$$\beta_{\text{U}} := \frac{K^2 \cdot (1 + 8.55 \cdot \log(K)) - 1}{1.36 \cdot (K^2 - 1) \cdot (K - 1)} = 9.504$$

$$\beta_{\text{Y}} := \frac{1}{(K - 1)} \cdot \left[0.69 + 5.72 \cdot \frac{K^2 \cdot \log(K)}{(K^2 - 1)} \right] = 8.729$$

$$\beta_{\text{Z}} := \frac{K^2 + 1}{K^2 - 1} = 4.459$$

Коэффициенты β_F , β_V и f , зависящие от соотношения размеров втулки фланца, для фланцевых соединений с приварными встык фланцами с конической втулкой определяют по графикам, приведенным на рисунках К.2 - К.4, в зависимости от отношений:

$$\beta := \frac{s_{1B}}{s_0} = 2.188$$

$$x := \frac{h_B}{\sqrt{D \cdot s_0}} = 0.486$$

- коэффициенты для фланцевых соединений с приварными встык фланцами:

$$\beta_F := 0.82$$

$$\beta_V := 0.22$$

$$f := 1.4$$

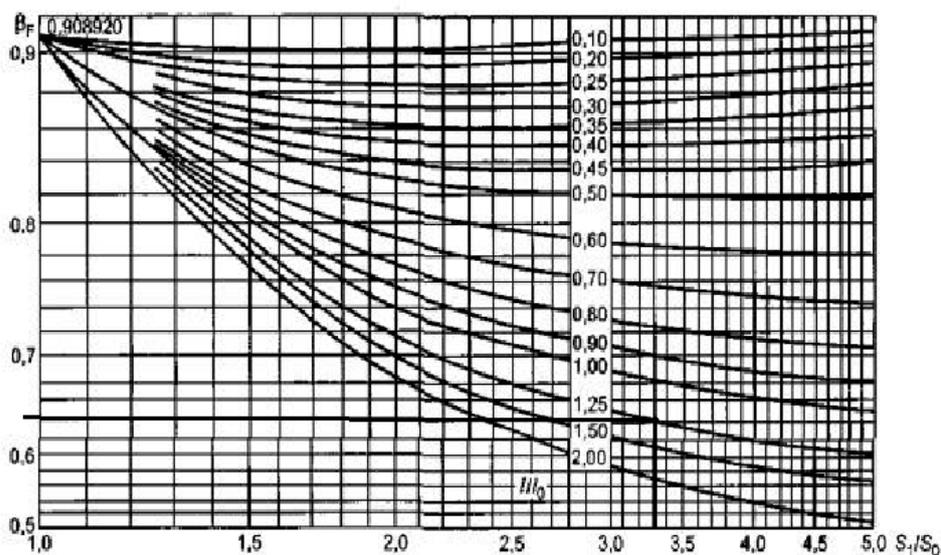


Рисунок 3.10 Коэффициент β_F

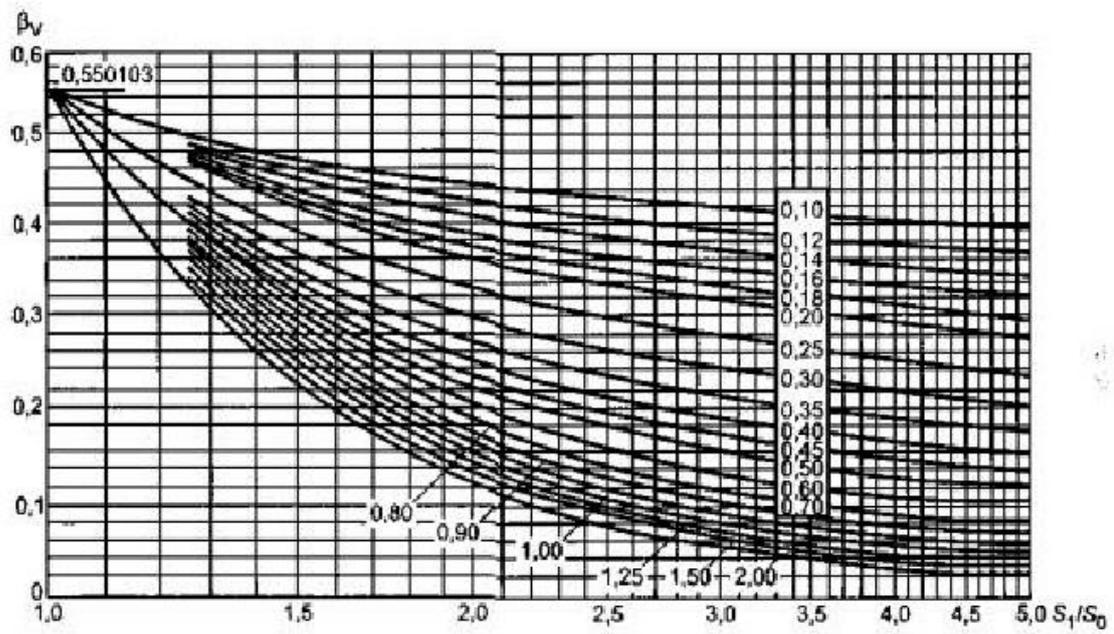


Рисунок 3.11 Коэффициент β_v

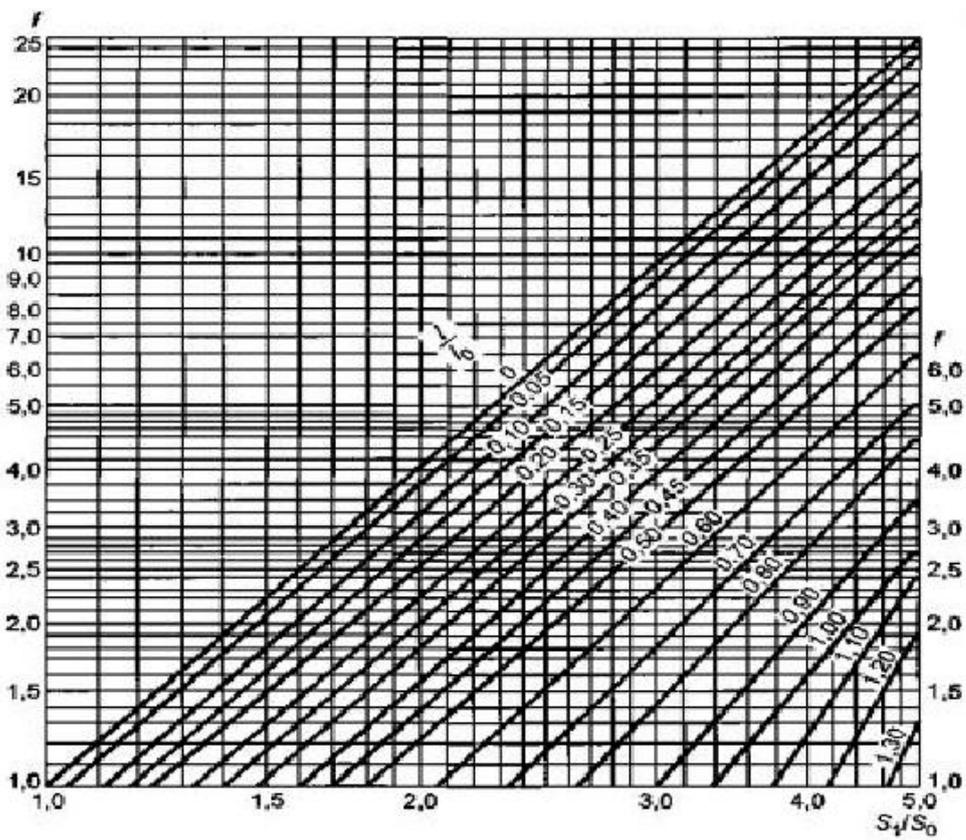


Рисунок 3.12 Поправочный коэффициент для напряжений во втулке фланца f

- коэффициент:

$$\lambda := \frac{\beta F \cdot h + l_0}{\beta T \cdot l_0} + \frac{\beta V \cdot h^3}{\beta U \cdot l_0 \cdot (s_1)^2} = 1.188$$

Угловая податливость фланцев:

Угловая податливость фланца при затяжке:

$$y_{\phi} := \frac{0.91 \cdot \beta V}{\lambda \cdot s_0^2 \cdot l_0 \cdot E_{20}} = 2.924 \times 10^{-11}$$

Плечи действий усилия в болтах:

- для приварных встык фланцев: смотри [8, стр. 32]

$$b := 0.5 \cdot (D_H - D_{СП}) = 76 \text{ мм}$$

Относительная длина втулки фланца:

$$\xi := 1 + (\beta - 1) \cdot \frac{x}{x + \frac{1 + \beta}{4}} = 1.45$$

$$s_{\xi} := \xi \cdot s_0 = 23.199$$

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

$$e := 0.5 \cdot (D_{СП} - D - s_{\xi}) = 14.9 \text{ мм}$$

Усилие, возникающее от температурных деформаций

Коэффициент жесткости фланцевого соединения нагруженного внутренним давлением:

$$\alpha := 1 - \frac{y_{\Pi} - 2 \cdot y_{\phi} \cdot e \cdot b}{y_{\Pi} + y_{\sigma} + 2 \cdot e \cdot y_{\phi} \cdot b^2} = 0.95$$

Нагрузка на болты при затяжке, необходимая для обеспечения обжатия прокладки и минимального начального натяжения болтов:

$$P_{\sigma 1} := \alpha \cdot Q_D + R_{\Pi} = 1.163 \times 10^6 \text{ Н}$$

При рабочих условиях:

$$P_{\sigma 2} := P_{\sigma 1} + (1 - \alpha) \cdot (Q_d) = 1.215 \times 10^6 \text{ Н}$$

Расчётная нагрузка на болты (шпильки) фланцевых соединений:

- при затяжке фланцевого соединения:

$$P_{\sigma M} := \max(P_{\sigma 1}, P_{\sigma 2}) = 1.215 \times 10^6 \text{ Н}$$

- в рабочих условиях:

$$P_{\sigma p} := P_{\sigma M} + (1 - \alpha) \cdot Q_d = 1.266 \times 10^6 \text{ Н}$$

Расчетные напряжения в болтах при затяжке:

$$\sigma_{\sigma 1} := \frac{P_{\sigma M}}{A_{\sigma}} = 64.892 \text{ МПа}$$

В рабочих условиях:

$$\sigma_{\sigma 2} := \frac{P_{\sigma p}}{A_{\sigma}} = 67.643 \text{ МПа}$$

Номинальное допускаемое напряжение для болтов при рабочей температуре:

$$\sigma_{\sigma} = 230 \text{ МПа}$$

Номинальное допускаемое напряжение для болтов при гидроиспытаниях:

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

где $\xi = 1,2$ — коэффициент увеличения допускаемых напряжений при затяжке; $\xi_{\sigma} := 1.2$

$K_{y.p}$ - коэффициент условий работы:

$K_{y.p1} = 1,0$ для рабочих условий:

$K_{y.p2} = 1,35$ для условий испытания:

$$K_{y.p1} := 1 \quad K_{y.p2} := 1.35$$

$K_{y.z}$ - коэффициент условий затяжки:

$K_{y.z} = 1,0$ при обычной неконтролируемой затяжке:

$$K_{y.z} := 1$$

Рекомендуемые значения крутящих моментов при затяжке приведены в приложении Л.

$K_{у.т}$ - коэффициент учета нагрузки от температурных деформаций:

Учитываем температурные деформации:

$$K_{у.т} := 1.3$$

Допускаемые напряжения для болтов (шпилек) при затяжке в рабочих условиях и при расчете на условия испытания вычисляются по формулам:

При гидроиспытаниях:

$$\sigma_{бм} := K_{у.p2} \cdot K_{у.z} \cdot \xi \cdot K_{у.т} \cdot \sigma_{б20} = 484.38 \text{ МПа}$$

При рабочих условиях:

$$\sigma_{бр} := K_{у.p1} \cdot K_{у.z} \cdot K_{у.т} \cdot \sigma_{б} = 299 \text{ МПа}$$

Условие прочности болтов при затяжке:

$$Us1_22 := \begin{cases} \text{"Условия прочности болтов при гидроиспытаниях выполняются"} & \text{if } \sigma_{б1} \leq \sigma_{бм} \\ \text{"Условия прочности не выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$Us1_22 = \text{"Условия прочности болтов при гидроиспытаниях выполняются"}$

$$\sigma_{б1} = 64.892 \text{ МПа} \qquad \sigma_{бм} = 484.38 \text{ МПа}$$

Условие прочности болтов в рабочих условиях:

$$Us1_23 := \begin{cases} \text{"Условия прочности болтов при работе выполняются"} & \text{if } \sigma_{б2} \leq \sigma_{бр} \\ \text{"Условия прочности не выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$Us1_23 = \text{"Условия прочности болтов при работе выполняются"}$

$$\sigma_{б2} = 67.643 \text{ МПа} \qquad \sigma_{бр} = 299 \text{ МПа}$$

Паронит мягкая прокладка, поэтому в соответствии с [8] проверяется условие прочности прокладки:

Расчетное удельное давление:

$$q := \frac{\max(P_{б1}, P_{б2})}{\pi \cdot D_{сп} \cdot b_0} = 30.221 \text{ МПа}$$

Допускаемое удельное давление определяется по приложению И согласно [38] для паронита при не более 2-3 мм:

$$q_d := 130 \text{ МПа}$$

$$Us1_24 := \begin{cases} \text{"Условия прочности прокладки выполняются"} & \text{if } q \leq q_d \\ \text{"Условия прочности не выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$Us1_24 = \text{"Условия прочности прокладки выполняются"}$$

$$q = 30.221 \text{ МПа}$$

$$q_d = 130 \text{ МПа}$$

Расчет фланца на статическую прочность

Коэффициент, учитывающий изгиб тарелки фланца между болтами:

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

Расчетный изгибающий момент, действующий на фланец при затяжке:

$$M_M := C_\phi \cdot P_{\phi 1} \cdot b = 8.841 \times 10^7 \text{ Н*мм}$$

Расчетный изгибающий момент, действующий на фланец в рабочих условиях:

$$M_P := C_\phi \cdot \max[(P_{\phi p} \cdot b + Q_d \cdot e), e \cdot |Q_d|] = 1.116 \times 10^8 \text{ Н*мм}$$

Приведенный диаметр приварного встык фланца с конической втулкой:

$$D_{пр} := \begin{cases} D & \text{if } D \geq 20 \cdot s_{1B} \\ (D + s_0) & \text{if } \begin{cases} f > 1 \\ D \leq 20 \cdot s_{1B} \end{cases} \\ (D + s_{1B}) & \text{if } \begin{cases} D \leq 20 \cdot s_{1B} \\ f = 1 \end{cases} \end{cases} = 800 \text{ мм}$$

Расчетные напряжения во фланце при затяжке:

$$\sigma_{1M} := \frac{M_M}{\lambda \cdot (s_{1B} - c)^2 \cdot D_{пр}} = 81.422 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{0M} := f \cdot \sigma_{1M} = 113.99 \text{ МПа}$$

Расчетные напряжения во фланце в рабочих условиях

Меридиональное изгибающее напряжение для плоского фланца:

$$\sigma_{1P} := \frac{M_P}{\lambda \cdot (s_{1B} - c)^2 \cdot D_{пр}} = 102.808 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{0P} := f \cdot \sigma_{1P} = 143.932 \text{ МПа}$$

Меридиональные мембранные напряжения во втулке приварного встык фланца, трубе плоского фланца в рабочих условиях:

$$\sigma_{0MM_раб} := \frac{Q_D}{\pi \cdot (D + s_0) \cdot (s_0 - c)} = 27.23 \text{ МПа}$$

Окружные мембранные напряжения от действия давления во втулке приварного встык фланца, трубе плоского фланца S0:

$$\sigma_{0Mo_раб} := \frac{D \cdot P_{рас1}}{2 \cdot (s_0 - c)} = 48.86 \text{ МПа}$$

Условия статической прочности фланцев

- при затяжке:

Для приварных встык фланцев с конической втулкой в сечении s_0 условия статической прочности определяют по формулам: проверка согласно [8, стр. 15]

С учетом стесненности температурных деформаций:

$$K_T := 1.3$$

Допускаемое значение суммарных общих и местных условных упругих мембранных и изгибных напряжений МПа:

$$\sigma_R := \sigma_{\phi} = 177.5 \text{ МПа}$$

$$\sigma_R \cdot K_T = 230.75 \text{ МПа}$$

При затяжке:

$$Us1_25 := \begin{cases} \text{"Условия статической прочности выполняются"} & \text{if } \sigma_{0M} \leq \sigma_R \cdot K_T \\ \text{"Условия прочности не выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$Us1_25 = \text{"Условия статической прочности выполняются"}$$

$$\sigma_{0M} = 113.99 \text{ МПа}$$

$$\sigma_R \cdot K_T = 230.75 \text{ МПа}$$

-в рабочих условиях:

$$A := \max(|0.3 \cdot \sigma_{0p} - \sigma_{0mo_раб}|, |0.3 \cdot \sigma_{0p} + \sigma_{0mo_раб}|)$$

$$B := |0.7 \cdot \sigma_{0p} + (\sigma_{0mo_раб} - \sigma_{0mm_раб})|$$

$$B := |0.7 \cdot \sigma_{0p} - (\sigma_{0mo_раб} - \sigma_{0mm_раб})|$$

$$\max(\max(|\sigma_{0p} - \sigma_{0mm_раб}|, |\sigma_{0p} + \sigma_{0mm_раб}|), A, \max(B, B)) = 171.161$$

$$\Gamma := 0.7 \cdot \sigma_{0p} + (\sigma_{0mo_раб} - \sigma_{0mm_раб})$$

$$D := \max(|\sigma_{0p} - \sigma_{0mm_раб}|, |\sigma_{0p} + \sigma_{0mm_раб}|)$$

$$E := \max(|0.3 \cdot \sigma_{0p} - \sigma_{0mo_раб}|, |0.3 \cdot \sigma_{0p} + \sigma_{0mo_раб}|)$$

$$Ж := |0.7 \cdot \sigma_{0p} - (\sigma_{0mo_раб} - \sigma_{0mm_раб})|$$

$$Us1_26 := \begin{cases} \text{"Условия выполняются"} & \text{if } \max(D, E, \max(Ж, \Gamma)) \leq \sigma_R \cdot K_T \\ \text{"Условия прочности не выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$Us1_26 = \text{"Условия выполняются"}$$

$$\max(D, E, \max(Ж, \Gamma)) = 171.161 \text{ МПа}$$

$$\sigma_R \cdot K_T = 230.75 \text{ МПа}$$

Проверка углов поворота фланцев

Угол поворота приварного встык, плоского фланца и бурта свободного фланца в рабочих условиях:

$$\theta := P_{бр} \cdot u_{ф} \cdot \frac{E_{20}}{E} = 3.756 \times 10^{-5}$$

Допускаемый угол поворота фланца с диаметром 800 мм:

$$D_T := \begin{pmatrix} 400 \\ 2000 \end{pmatrix} \text{ } ^{\circ}\text{C} \quad \theta_{д_Т} := \begin{pmatrix} 0.006 \\ 0.013 \end{pmatrix}$$

$$\theta_{д} := \text{Floor}(\text{interp}(D_T, \theta_{д_Т}, D), 0.00005) = 7.75 \times 10^{-3}$$

$$Us1_27 := \begin{cases} \text{"Условие угла поворота фланца выполняется"} & \text{if } \theta \leq \theta_{д} \\ \text{"Условие НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Us1_27 = "Условие угла поворота фланца выполняется"

3.1.10 Расчет трубной решетки

Расчет согласно [10]

Половина длины труб аппарата равна 3 метра:

$$l_{\text{труб}} := 3000 \text{ мм}$$

Число труб:

$$n_{\text{тр}} := 404 \text{ трубы}$$

Для трубной решетки используем материал: Сталь 09Г2С, согласно таблице материального исполнения аппарата, таблица 1

Допускаемое напряжение трубной решетки, при рабочей температуре труб:
[3]

$$\sigma_{\text{реш100}} := \sigma_{Д100} = 177 \text{ МПа}$$

Модуль упругости:

$$E_{\text{реш100}} := 1.91 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

Для труб используется материал: Сталь 10Г2С1

Допускаемое напряжение трубного пучка:

$$\sigma_{\text{тр60}} := \sigma_{\text{Д60Т}} = 171.5 \text{ МПа}$$

Модуль упругости при рабочей температуре $t_2=60$ °С для материала труб:

Сталь 10Г2С1 [3]

$$E_2 := \text{Floor} \left[\text{interp} \left[\left(\begin{array}{c} 20 \\ 100 \end{array} \right), \left(\begin{array}{c} 1.99 \cdot 10^5 \\ 1.91 \cdot 10^5 \end{array} \right), t_2, 0.5 \right] \right] = 1.95 \times 10^5 \text{ МПа}$$

Диаметр трубы внутренний:

$$d_{\text{тр}} := 21 \text{ мм}$$

Толщина стенки трубы:

$$s_{\text{тр}} := 2 \text{ мм}$$

Диаметр трубы наружный:

$$d_{\text{нр}} := 25 \text{ мм}$$

Внутренний радиус кожуха:

$$a := \frac{D}{2} = 400 \text{ мм}$$

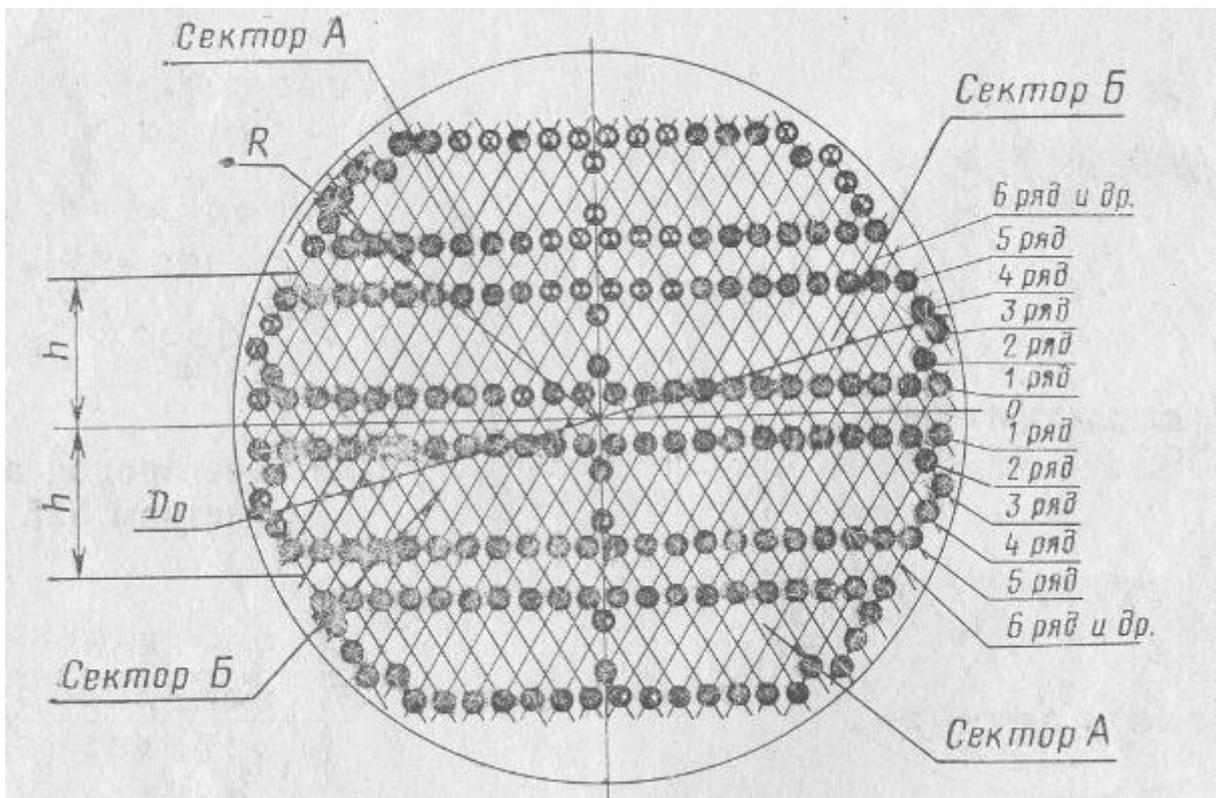


Рисунок 3.13 - Решетка аппарата четырехходового диаметром 800 мм

Основные характеристики трубной решетки, для двухходового теплообменника диаметром 800 мм: согласно [11]

Диаметр трубного пучка:

$$D_0 := 788 \text{ мм}$$

Расстояние от оси кожуха до оси наиболее удаленной трубы:

$$a_1 := \frac{D_0}{2} = 394 \text{ мм}$$

Расчет трубной решетки: согласно [12]

Относительную характеристику бес трубного края трубной решетки:

$$m_n := \frac{a}{a_1} = 1.015$$

Шаг расположения труб [12]:

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

Коэффициент прочности решетки:

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

Диаметр середины прокладки фланцевого соединения:

$$D_{\text{сп}} = 853 \text{ мм}$$

Толщина трубной решетки:

$$s_p := \max \left(\text{ceil} \left(\frac{D_{\text{сп}}}{4.7} \cdot \sqrt{\frac{P_{\text{рас1}}}{\sigma_{\text{реш100}} \cdot \phi_p}} + c \right), \text{ceil} \left(\frac{D_{\text{сп}}}{4.7} \cdot \sqrt{\frac{P_{\text{и1}}}{\sigma_{\text{и20}_1} \cdot \phi_p}} + c \right) \right) = 37 \text{ мм}$$

Принимаем толщину трубной решетки:

$$s_p := 95 \text{ мм}$$

Коэффициенты влияния давления на трубную решетку вычисляются по формулам:

- со стороны межтрубного пространства:

$$\eta_M := 1 - \frac{n_{\text{тр}} \cdot d_{\text{нр}}^2}{4 \cdot a_1^2} = 0.593$$

- со стороны трубного пространства:

$$\eta_T := 1 - \frac{n_{\text{Тр}} \cdot (d_{\text{Нр}} - 2 \cdot s_{\text{Тр}})^2}{4 \cdot a_1^2} = 0.713$$

Основные характеристики жесткости элементов теплообменного аппарата.

Модуль упругости основания (системы труб):

$$K_y := \frac{E_2 \cdot (\eta_T - \eta_M)}{l_{\text{Труб}}} = 7.781 \text{ Н/мм}^3$$

Приведенное отношение жесткости труб к жесткости кожуха вычисляют по формуле:

$$\rho := \frac{K_y \cdot a_1 \cdot l_{\text{Труб}}}{E_1 \cdot s_1} = 3.01$$

Коэффициенты изменения жесткости системы трубы - кожух:

Коэффициенты изменения жесткости системы трубы - кожух вычисляют по формулам: [10]

K_{1p} - отношение осевого перемещения компенсатора или расширителя при действии давления к осевому перемещению краев корпуса межтрубного пространства без компенсатора и расширителя от действия того же давления:

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

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

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

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

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

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

Коэффициент жесткости перфорированной плиты ψ_0 :

$$\eta_T = 0.713$$

η_T	0,4	0,45	0,5	0,55	0,6	0,65	0,7	0,75	0,8	0,85
Ψ_0	0,12	0,15	0,2	0,25	0,3	0,37	0,44	0,51	0,59	0,68

Таблица 3.1.5 Коэффициент жесткости перфорированной плиты ψ_0

Коэффициент жесткости перфорированной плиты ψ_0 :

$$\psi_0 := \text{Floor} \left[\text{linterp} \left[\left(\begin{array}{c} 0,45 \\ 0,5 \end{array} \right), \left(\begin{array}{c} 0,15 \\ 0,2 \end{array} \right), \eta_T, 0,005 \right] \right] = 0,41$$

Коэффициент системы решетка - трубы:

$$\beta_{\text{ww}} := \frac{1,82}{s_p} \cdot \sqrt[4]{\frac{K_y \cdot s_p}{\psi_0 \cdot E_{\text{реш}} \cdot 100}} = 5,972 \times 10^{-3}$$

Безразмерный параметр системы решетка - трубы вычисляются по формуле

$$\omega := \beta \cdot a_1 = 2,353$$

Коэффициент линейного расширения трубы при:

$$\alpha_1 = 1,16 \times 10^{-5} \text{ } 1/^\circ\text{C}$$

Коэффициент линейного расширения кожуха:

$$\alpha_2 = 1,16 \times 10^{-5} \text{ } 1/^\circ\text{C}$$

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

$$K_\phi := 1 \text{ Н} \cdot \text{мм}$$

Расчетное давление в трубном пространстве:

$$P_{\text{рас}2} = 0,308 \text{ МПа}$$

Расчетное давление в межтрубном пространстве:

$$P_{\text{рас}1} = 1,808 \text{ МПа}$$

R_1 - радиус центра тяжести тарелки кожуха, мм:

$$R_1 := \frac{D_{\text{СП}} - D}{4} = 13,25 \text{ мм}$$

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

$$m_{cp} := 0.15 \cdot \frac{n_{тр} \cdot (d_{нр} - 2 \cdot s_{тр})^2}{4 \cdot a_1^2} = 0.043$$

Приведенное давление p_0 вычисляют по формуле:

$$\underline{A} := \eta_M - 1 + m_{cp} + m_n \cdot (m_n + 0.3 \rho \cdot K_p)$$

$$\underline{B} := [\alpha_2 \cdot (t_2 - 20) - \alpha_1 \cdot (t_1 - 20)] \cdot K_y \cdot \frac{1}{2}$$

$$p_0 := B + [\eta_T - 1 + m_{cp} + m_n \cdot (m_n + 0.5 \rho \cdot K_q)] \cdot P_{рас2} - A \cdot P_{рас1} = -12.441$$

Приведенное отношение жесткости труб к жесткости фланцевого соединения вычисляют по формуле:

$$\rho_1 := \frac{K_y \cdot a \cdot a_1}{\beta^2 \cdot K_\phi \cdot R_1} = 2.596 \times 10^9 \text{ МПа}$$

Коэффициенты, учитывающие влияние без трубного края и поддерживающие влияние труб Φ_1, Φ_2, Φ_3

безразмерный параметр системы решетка – трубы:

$$\omega = 2.353 \quad m_n = 1.015$$

$$\Phi_1 := \text{Floor} \left[\text{linterp} \left[\left[\begin{pmatrix} 3 \\ 3.5 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} 4.5 \\ 5.39 \end{pmatrix} \right], \omega, 0.005 \right] \right] = 3.345$$

$$\Phi_2 := \text{Floor} \left[\text{linterp} \left[\left[\begin{pmatrix} 3 \\ 3.5 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} 2.94 \\ 3.59 \end{pmatrix} \right], \omega, 0.005 \right] \right] = 2.095$$

$$\Phi_3 := \text{Floor} \left[\text{linterp} \left[\left[\begin{pmatrix} 3 \\ 3.5 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} 4.65 \\ 5.36 \end{pmatrix} \right], \omega, 0.005 \right] \right] = 3.73$$

Значения T_1, T_2, T_3 вычисляют по формулам:

$$\underline{t_1} := 1 + 1.4 \omega \cdot (m_n - 1) = 1.05$$

$$T_1 := \Phi_1 \cdot [m_n + 0.5(1 + m_n \cdot t_1) \cdot (t_1 - 1)] = 3.569$$

$$T_2 := \Phi_2 \cdot t_1 = 2.2$$

$$T_3 := \Phi_3 \cdot m_n = 3.787$$

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

- для изгибающего момента:

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

$$s_{1k} := 16 \qquad s_{2k} := 16$$

β_1 - коэффициент системы кожух - решетка, 1/мм:

$$\beta_1 := \frac{1.3}{\sqrt{s_{1k} \cdot a}} = 0.016 \quad 1/\text{мм}$$

β_2 - коэффициент системы обечайка - камеры, 1/мм:

$$\beta_2 := \frac{1.3}{\sqrt{s_{2k} \cdot a}} = 0.016 \quad 1/\text{мм}$$

$$h_1 := s_p$$

m_1 - коэффициент влияния давления на изгиб:

$$m_1 := \frac{1 + \beta_1 \cdot h_1}{\beta_1^2} = 9.633 \times 10^3$$

m_2 - коэффициент влияния давления на изгиб:

$$m_2 := \frac{1 + \beta_2 \cdot h_1}{\beta_2^2} = 9.633 \times 10^3$$

p_1 - приведенное давление на фланцы:

$$p_1 := \frac{K_y}{\beta \cdot K_\phi} \cdot (m_2 \cdot P_{\text{рас1}} - m_1 \cdot P_{\text{рас2}}) = 1.883 \times 10^7 \text{ МПа}$$

Расчетное давление воздушного охлаждения в камере аппарата:

$$P := P_{\text{рас2}} = 0.308 \text{ МПа}$$

$$M_{\text{II}} := \left(\frac{a_1}{\beta} \right) \cdot \frac{p_1 \cdot (T_1 + \rho \cdot K_q) - p_0 \cdot T_2}{(T_1 + \rho \cdot K_q) \cdot (T_3 + \rho_1) - T_2^2} = 478.647 \text{ Н*мм}$$

для перерезывающей силы:

$$Q_{\Pi} := a_1 \cdot \frac{p_0 \cdot (T_3 + \rho_1) - p_1 \cdot T_2}{(T_1 + \rho \cdot K_q) \cdot (T_3 + \rho_1) - T_2^2} = -746.009 \text{ Н}$$

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

- для изгибающего момента:

$$M_a := M_{\Pi} + (a - a_1) \cdot Q_{\Pi} = -3.997 \times 10^3 \text{ Н*мм}$$

- для перерезывающей силы:

$$Q_a := m_{\Pi} \cdot Q_{\Pi} = -757.369 \text{ Н}$$

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

- для осевой силы:

$$N_T := \frac{\pi \cdot a_1}{n_{\text{тр}}} \cdot \left[(\eta_M \cdot P_{\text{рас1}} - \eta_T \cdot P_{\text{рас2}}) \cdot a_1 + \Phi_1 \cdot Q_a + \Phi_2 \cdot \beta \cdot M_a \right] = -6.885 \times 10^3 \text{ Н}$$

- для изгибающего момента:

Внутренний диаметр трубы:

$$d_{\text{в}} := d_{\text{нр}} - 2 \cdot s_{\text{тр}} = 21 \text{ мм}$$

J_T - момент инерции поперечного сечения трубы, мм⁴:

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

Приведенная длина трубы, используемая при расчете прогиба труб и изгибающего момента, действующего на трубу, мм:

$l_{\text{пр}}$ — вычисляют по формулам:

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

$$M_T := \frac{E_2 \cdot J_T \cdot \beta}{K_y \cdot a_1 \cdot l_{\text{пр}}} \cdot (\Phi_2 \cdot Q_a + \Phi_3 \cdot \beta \cdot M_a) = -2.043 \times 10^3 \text{ Н*мм}$$

Усилия в кожухе вычисляют по формулам:

- усилие, распределенное по периметру кожуха:

$$Q_K := \frac{a}{2} \cdot P_{рас2} - Q_{II} = 807.573 \text{ Н}$$

- изгибающий момент, распределенный по периметру кожуха:

$$K_1 := 1$$

$$M_K := \frac{K_1}{\rho \cdot K_{\phi} \cdot \beta} \cdot (T_2 \cdot Q_{II} + T_3 \cdot \beta \cdot M_{II}) - \frac{P_{рас1}}{2 \cdot \beta} = -9.414 \times 10^4 \text{ Н*мм}$$

- суммарная осевая сила, действующая на кожух:

$$F := \pi \cdot D \cdot Q_K = 2.03 \times 10^6 \text{ Н}$$

Расчетные напряжения в элементах конструкции:

s_p - толщина трубной решетки, м:

$$s_p = 95 \text{ мм}$$

$$s_{1p} := s_p = 95 \text{ мм}$$

b_1 - ширина тарелки кожуха, м:

$$b_1 := \frac{D_H - D}{2} = 102.5 \text{ мм}$$

R_1 - радиус центра тяжести тарелки кожуха, м:

$$R_1 := \frac{D_H - D}{4} = 51.25 \text{ мм}$$

Расчетные напряжения в трубных решетках

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

- изгибные:

$$\sigma_{p1} := \frac{6 \cdot |M_{II}|}{(s_{1p} - c)^2} = 0.326 \text{ МПа}$$

- касательные:

$$\tau_{1p} := \frac{|Q_{II}|}{s_{1p} - c} = 7.953 \text{ МПа}$$

n_B - коэффициент для определения максимального изгибающего момента в перфорированной части трубной решетки:

$$n_B := \frac{Q_a}{\beta \cdot M_a} = 31.728 \quad \omega = 2.353$$

B - коэффициент: [10, стр. 52, таблица Г3]

$$B := \text{Floor} \left[\text{linterp} \left[\left(\begin{array}{c} 3 \\ 4 \end{array} \right), \left(\begin{array}{c} 0.964 \\ 1.029 \end{array} \right), \omega \right], 0.0005 \right] = 0.921$$

где A - коэффициент, определяемый по таблице: [10, стр. 51, таблица Г2] в зависимости от ω и m_A

$$m_A := \frac{\beta \cdot M_a}{Q_a} = 0.032$$

$$A := \text{Floor} \left[\text{linterp} \left[\left(\begin{array}{c} 3 \\ 4 \end{array} \right), \left(\begin{array}{c} 0.376 \\ 0.37 \end{array} \right), \omega \right], 0.0005 \right] = 0.38$$

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

$$M_{\max} := \begin{cases} A \cdot \frac{|Q_a|}{\beta} & \text{if } \begin{cases} m_A \leq 1 \\ -1 \leq m_A \end{cases} \\ B \cdot |M_a| & \text{if } \begin{cases} m_A < -1 \\ m_A > 1 \end{cases} \end{cases} = 4.813 \times 10^4 \text{ Н*мм}$$

Напряжения в перфорированной части трубной решетки вычисляются по формулам:

- изгибные:

$$\sigma_{p2} := \frac{6 \cdot M_{\max}}{\phi \cdot (s_{1p} - c)^2} = 32.823 \text{ МПа}$$

- касательные:

$$\tau_{2p} := \frac{|Q_a|}{\phi \cdot (s_{1p} - c)} = 8.074 \text{ МПа}$$

Напряжения в кожухе в месте присоединения к решётке в меридиональном направлении:

мембранные:

$$\sigma_{Mx} := \frac{|Q_k|}{(s_{1k} - c)} = 54.566 \text{ МПа}$$

изгибные:

$$\sigma_{ux} := \frac{6 \cdot |M_k|}{(s_{1k} - c)^2} = 2.579 \times 10^3 \text{ МПа}$$

в окружном направлении:

мембранные:

$$\sigma_{M\phi} := \frac{P_{pac1} \cdot a}{(s_{1k} - c)} = 48.86 \text{ МПа}$$

изгибные:

$$\sigma_{u\phi} := 0.3 \cdot \sigma_{ux} = 773.627 \text{ МПа}$$

в окружном направлении:

$$\sigma_{2T} := \frac{(d_{нр} - s_{тр}) \max(|P_{pac2}|, |P_{pac1}|, |P_{pac2} - P_{pac1}|)}{2 \cdot s_{тр}} = 10.395 \text{ МПа}$$

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

$$\sigma_{др} := \sigma_{реш100} = 177 \text{ МПа}$$

Проверка прочности трубных решёток:

Проверка статической прочности:

$$Us1_28 := \begin{cases} \text{"Условие прочности выполняется"} & \text{if } \max(\tau_{1p}, \tau_{2p}) \leq 0.8 \cdot \sigma_{др} \\ \text{"Условие прочности НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Us1_28 = "Условие прочности выполняется"

$$\max(\tau_{1p}, \tau_{2p}) = 8.074 \text{ МПа}$$

$$0.8 \cdot \sigma_{др} = 141.6 \text{ МПа}$$

Проверка прочности и устойчивости кожуха.

Проверку прочности кожуха в месте присоединения к решетке.

Условие статической прочности кожуха в месте присоединения к решетке: допускаемое напряжение для материала кожуха теплообменного аппарата или крышки аппарата воздушного охлаждения, МПа:

$$\sigma_{Д100} = 177 \text{ МПа}$$

$$Us1_29 := \begin{cases} \text{"Условие выполняется"} & \text{if } \sigma_{Mx} \leq 1.3 \cdot \sigma_{Д100} \\ \text{"Условие НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$Us1_29 = \text{"Условие выполняется"}$$

$$\sigma_{Mx} = 54.566 \text{ МПа}$$

$$1.3 \cdot \sigma_{Д100} = 230.1 \text{ МПа}$$

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

Условие статической прочности труб

$$Us1_30 := \begin{cases} \text{"Условие выполняется"} & \text{if } \sigma_{2T} \leq \sigma_{тр60} \\ \text{"Условие НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$Us1_30 = \text{"Условие выполняется"}$$

$$\sigma_{2T} = 10.395 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{тр60} = 171.5 \text{ МПа}$$

Проверку труб на устойчивость проводят в случае, если:

К_Т - коэффициент условий работы при расчете труб на устойчивость:

- для рабочих условий:

$$K_{T1} := 1.3$$

- для условий гидроиспытания:

$$K_{T2} := 1.126$$

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

$$l_{1R} := 400 \text{ мм}$$

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

$$l_{2R} := 400 \text{ мм}$$

l_R - расчетная длина труб при продольном изгибе, мм:

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

Для труб, завальцованных в гладком отверстии с отбортовкой, согласно [12]

Площадь трубной решетки, заключенной между четырьмя трубами:

$$f := 0.866 \cdot t^2 - \frac{\pi \cdot d_{\text{тр}}^2}{4} = 540.423 \text{ мм}^2$$

Трубная нагрузка:

$$q := P_{\text{рас2}} \cdot f = 166.355$$

- для рабочих условий:

$$\lambda_1 := K_{T1} \cdot \sqrt{\frac{\sigma_{\text{тр60}}}{E_2}} \cdot \frac{l_R}{(d_{\text{тр}} - s_{\text{тр}})} = 0.812$$

$$E_{\text{тр20}} := 1.99 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

- для условий гидроиспытания:

$$\lambda_2 := K_{T2} \cdot \sqrt{\frac{\sigma_{\text{и20}_2}}{E_{\text{тр20}}}} \cdot \frac{l_R}{(d_{\text{тр}} - s_{\text{тр}})} = 0.833$$

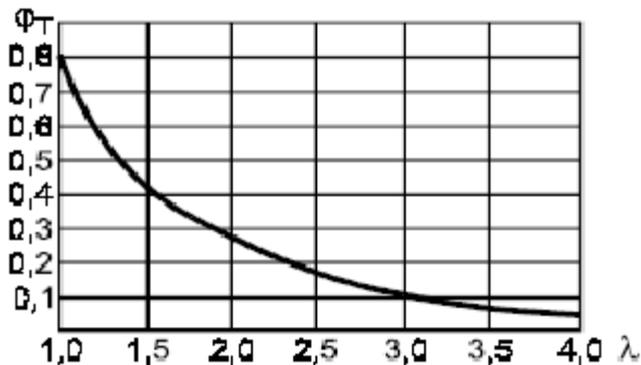


Рисунок 3.1.6 - Коэффициент уменьшения допускаемого напряжения при продольном изгибе

Коэффициент уменьшения допускаемого напряжения при продольном изгибе: из рисунка $\phi_T=0.8$

Проверка жесткости труб: [10]

Проверку проводят в случаях, когда к жесткости труб предъявляют какие-либо дополнительные требования.

Проверку жесткости труб проводят только при:

$$N_T < 0$$

$$Us1_31 := \begin{cases} \text{"Проверка жесткости труб нужна"} & \text{if } |N_T| < 0 \\ \text{"Проверка жесткости труб НЕ нужна"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Us1_31 = "Проверка жесткости труб НЕ нужна"

Определения деформаций под действием давления:

Осевое усилие от давления в трубном пространстве на крышку теплообменника:

$$Q_1 := P_{рас1} \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4} = 9.087 \times 10^5 \text{ Н}$$

Осевое усилие от давления на трубную решетку со стороны межтрубного пространства:

$$Q_2 := P_{рас1} \cdot \frac{\pi}{4} \cdot (D^2 - d_B^2 \cdot n_{тр}) = 6.557 \times 10^5 \text{ Н}$$

Осевое усилие распорной силы со стороны межтрубного пространства на трубную решетку:

$$Q_3 := P_{рас2} \cdot \frac{\pi}{4} \cdot (D^2 - d_H^2 \cdot n_{тр}) = 1.547 \times 10^5 \text{ Н}$$

Осевое усилие в трубном и межтрубном пространстве:

$$Q := Q_1 + Q_2 + Q_3 = 1.719 \times 10^6 \text{ Н}$$

Осевое усилие в трубном и межтрубном пространстве:

$$q := \frac{Q}{n_{тр}} = 4.255 \times 10^3 \text{ Н}$$

Площадь поперечного сечения стенки трубы:

$$d_H := 0.025 \text{ м} \quad d_B := 0.021 \text{ м}$$

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

$$q_T := \sigma_T \cdot f_T = 1.653 \times 10^{-3} \text{ Н}$$

Суммарное усилие:

$$q_C := q - q_T = 4.255 \times 10^3 \text{ Н}$$

Удельная нагрузка от давления на единицу длины окружности:

$$\sigma_0 := \frac{q_C}{\pi \cdot d_H} = 5.418 \times 10^4 \text{ Н/м}$$

$$\sigma_{0д} := 12 \cdot 10^6 \text{ Н/м}$$

$$Us1_32 := \begin{cases} \text{"Условие прочности выполняется"} & \text{if } \sigma_0 \leq \sigma_{0д} \\ \text{"Условие НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Us1_32 = "Условие прочности выполняется"

3.1.11 Расчет веса аппарата

Расчет веса корпуса аппарата:

$$D := 0.8 \text{ м}$$

Толщина стенки межтрубного пространства кожуха:

$$s_1 := 0.016 \text{ м}$$

Толщина стенки распределительной камеры:

$$s_2 := 0.016 \text{ м}$$

Плотность материала сталь 09Г2С:

$$\rho_{мет1} := 7850 \text{ кг/м}^3$$

Плотность материала сталь 10Г2С1:

$$\rho_{мет2} := 7850 \text{ кг/м}^3$$

Вес кожуха распределительной камеры:

$$G_{\text{кож}} := \pi \cdot \left[\frac{(D + 2 \cdot s_2)^2 - D^2}{4} \right] \cdot 0.7 \cdot \rho_{\text{мет1}} \cdot g = 2.209 \times 10^3 \text{ Н}$$

Вес кожуха обечайки:

$$G_{\text{об}} := \pi \cdot \left[\frac{(D + 2 \cdot s_1)^2 - D^2}{4} \right] \cdot 5.7 \cdot \rho_{\text{мет1}} \cdot g = 1.799 \times 10^4 \text{ Н}$$

Внутренний объем эллиптической крышки: [2, стр. 440]

$$V_{\text{д1}} := 92.2 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$$

Масса днища: согласно [2, стр. 441]

$$m_{\text{дн1}} := 105 \text{ кг}$$

Вес эллиптической крышки аппарата:

$$G_{\text{д.эл1}} := m_{\text{дн1}} \cdot g = 1.029 \times 10^3 \text{ Н}$$

Внутренний объем эллиптической крышки: [2, стр. 440]

$$V_{\text{д2}} := 127 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$$

Масса днища: согласно [2, стр. 441]

$$m_{\text{дн2}} := 129 \text{ кг}$$

Вес эллиптической крышки аппарата:

$$G_{\text{д.эл2}} := m_{\text{дн2}} \cdot g = 1.264 \times 10^3 \text{ Н}$$

Вес трубного пучка аппарата:

$$G_{\text{тр}} := 404 \cdot \pi \cdot \left[\frac{(0.025)^2 - 0.021^2}{4} \right] \cdot 6 \cdot \rho_{\text{мет2}} \cdot g = 2.695 \times 10^4 \text{ Н}$$

Вес трубной решетки:

$$G_{\text{тр_реш}} := \pi \cdot \frac{(0.8)^2}{4} \cdot 0.095 \cdot \rho_{\text{мет1}} \cdot g = 3.674 \times 10^3 \text{ Н}$$

Вес пустого аппарата:

$$G_{\text{ап1}} := G_{\text{д.эл1}} + G_{\text{д.эл2}} + G_{\text{об}} + G_{\text{кож}} + G_{\text{тр}} + G_{\text{тр_реш}} = 5.311 \times 10^4 \text{ Н}$$

Вес жидкости в условиях гидроиспытаний:

$$G_{\text{жид1}} := \left(\pi \cdot \frac{D^2}{4} \cdot 0.7 + V_{\text{д1}} + V_{\text{д2}} + \pi \cdot \frac{D^2}{4} \cdot 6 \right) \cdot \rho_{\text{вод}} \cdot g = 3.508 \times 10^4 \text{ Н}$$

Вес аппарата заполненного жидкостью:

$$G_{\text{ап2}} := G_{\text{ап1}} + G_{\text{жид1}} = 8.819 \times 10^4 \text{ Н}$$

Выбор стандартной опоры аппараты

[2, стр. 681]

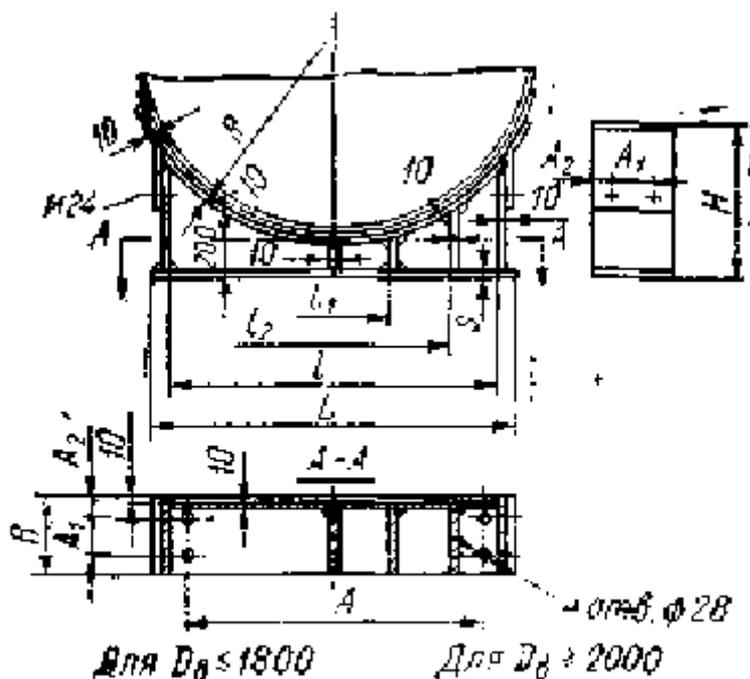


Рисунок 3.14 - Опоры горизонтальных аппаратов типа ОГ с внутренним диаметром 800 мм

Условное обозначение опоры для аппарата с $D = 800$ мм на нагрузку 0,17 Мн (17 тс): «Опора ОГ—II—800—17 МН 5132—63»

G	L	D	H	I	B	R	s
Н							
мм							
170000	750	800	440	705	200	422	16

Таблица 3.1.7 Опоры горизонтальных аппаратов типа ОГ с внутренним диаметром 800 мм

Условие правильности выбора опоры:

$$Us1_{33} := \begin{cases} \text{"Условие выполняется"} & \text{if } G_{ап2} < 170000 \\ \text{"Условие не выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases} = \text{"Условие выполняется"}$$

3.2 Емкость для хранения метанольной воды Е-31/1

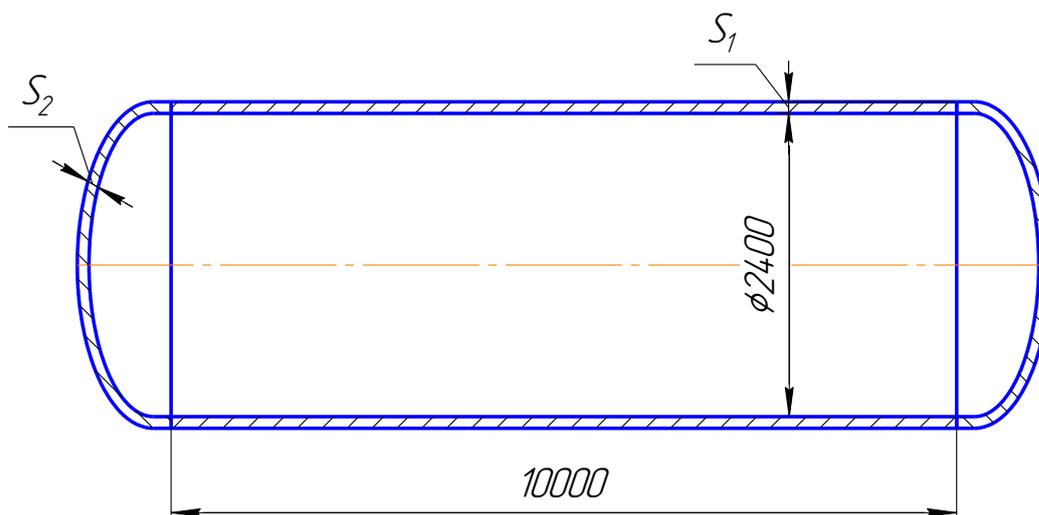


Рисунок 3.15 - Расчетная схема аппарата

Исходные данные

Номинальный объем аппарата: $V=50\text{м}^3$

Диаметр аппарата: $D=2400\text{мм}$

Длина цилиндрической обечайки: $l=10\text{м}$

Высота не отбортованной крышки: согласно [2, стр. 440]

$$h_B := 600 \text{ мм}$$

Высота отбортовки крышки: [2, стр. 440]

$$h := 80 \text{ мм}$$

Высота отбортованного днища:

$$h_3 := h_B + h = 680 \text{ мм}$$

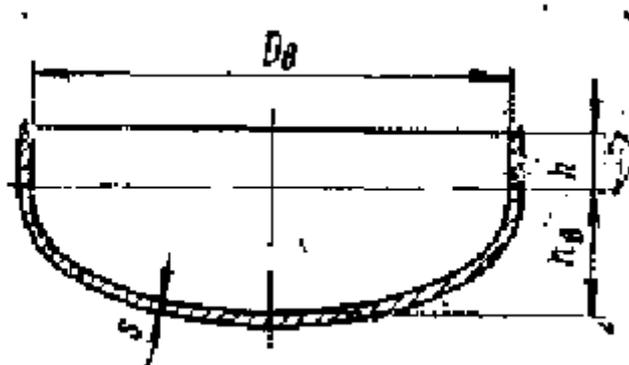


Рисунок 3.16 - Днище эллиптическое отбортованное стальное

Максимальная рабочая температуры среды:

$$t_p := 60 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Рабочее давление:

$$P_p := 1.8 \text{ МПа}$$

Материал аппарата:

Марка: Сталь 16ГС

Классификация: Сталь конструкционная низколегированная для сварных конструкций.

Дополнение: Сталь кремнемарганцовистая.

Применение: Детали и части паровых котлов и сосудов, работающих под давлением. Корпуса аппаратов, днища, фланцы и др. детали, работающие при температурах от - 40 до + 475°С под давлением. Стационарные трубопроводы питательной воды котлов СВП, работающих при 280°С и давлении 38 МПа.

Марка низколегированной стали - кремнемарганцовой 16ГС повышенной прочности и надежности получила за последние годы широкое распространение в химической промышленности. Эта марка отличается повышенными прочностными качествами. Кроме того эта сталь обладает хорошей пластичностью, высокими значениями ударной вязкости при отрицательных температурах, а также отличной свариваемостью. Применение этой стали для аппаратов, работающих в условиях пониженных

температур (до - 70°C), значительно повышает их эксплуатационную надежность.

Коэффициент прочности сварных швов: стыковых, выполненных автоматической или полуавтоматической сваркой с одной стороны, с флюсовой или керамической подкладкой, при контроле 100 % длины шва. [3]

$$\varphi = 1$$

Прибавки к расчетным толщинам конструктивных элементов:

Прибавку к расчетным толщинам находим согласно [3, стр. 9]

Скорость коррозии материала аппарата:

$$П := 0.1 \text{ мм/год}$$

Срок службы аппарата: $\tau=10$ лет

Прибавка для компенсации коррозии и эрозии:

$$c_1 = П * \tau = 1 \text{ мм}$$

Прибавка для компенсации минусового допуска:

$$c_2 := 0 \text{ мм}$$

Технологическая прибавка:

$$c_3 := 0 \text{ мм}$$

Прибавки к расчетным толщинам конструктивных элементов:

$$c := c_1 + c_2 + c_3 = 1 \text{ мм}$$

Допускаемое напряжение материала кожуха 16ГС при температуре 20°C (температура гидроиспытаний): [3, стр.15]

$$\sigma_{\text{тек}20} := 300 \text{ МПа}$$

коэффициент запаса по пределу текучести для условий испытаний:

$$n_t := 1.1$$

Поправочный коэффициент η :

$$\eta = 1$$

Допускаемое напряжение для условий испытаний:

$$\sigma_{и20} := \text{ceil} \left(\eta \cdot \frac{\sigma_{\text{тек}20}}{n_t} \right) = 273 \text{ МПа}$$

Допускаемое напряжение материала 16ГС при рабочей температуре кожуха $t_p=60$ °С: [3, стр. 10]

$$\sigma_{Д} := \text{Floor} \left[\text{interp} \left[\left(\begin{array}{c} 20 \\ 100 \end{array} \right), \left(\begin{array}{c} 196 \\ 177 \end{array} \right), t_p \right], 0.5 \right] = 186.5 \text{ МПа}$$

3.2.1 Расчет давлений

Определить гидростатическое давление в аппарате:

Плотность воды при гидроиспытаниях (температура 20°С):

[1, стр. 548]

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

Высоту гидростатического столба в аппарате принимаем равной диаметру аппарата.

$$H_{\text{гид}} := 2.4 \text{ м}$$

Давление гидростатического столба при гидроиспытаниях: [1, стр. 13]

$$P_{\text{гид}} := \frac{9.8 \cdot H_{\text{гид}} \cdot \rho_{\text{вод}}}{10^6} = 0.023 \text{ МПа}$$

Давление в трубном пространстве:

Расчетное давление в трубном пространстве в рабочих условиях: [9]

$$P_p := (P_p + P_{\text{гид}}) = 1.823 \text{ МПа}$$

Давление при гидроиспытаниях:

$$P_{и} := 1.25 \cdot P_p \cdot \frac{\sigma_{и20}}{\sigma_{Д}} = 3.337 \text{ МПа}$$

Условное давление:

$$P_{\text{усл}} := P_p \cdot \frac{\sigma_{и20}}{\sigma_{Д}} = 2.669 \text{ МПа}$$

3.2.2 Расчет толщины стенки цилиндрической обечайки (кожуха)

Расчет проводим [5, стр. 5]

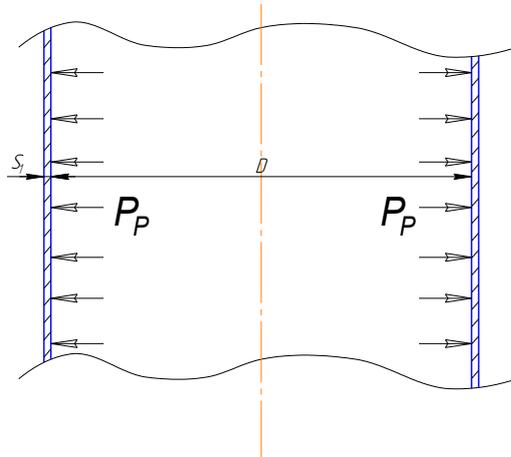


Рисунок 3.17 - Расчетная схема обечайки

Диаметр обечайки:

$$D = 2.4 \cdot 10^3 \text{ мм}$$

Расчетная толщина стенки цилиндрической обечайки при внутреннем избыточном давлении:

$$s_{p1} := \max \left(P_p \cdot \frac{D}{2 \cdot \phi \cdot \sigma_{Д} - P_p}, P_{и} \cdot \frac{D}{2 \cdot \phi \cdot \sigma_{и20} - P_{и}} \right) = 14.756 \text{ мм}$$

Исполнительная толщина стенки аппарата:

$$s_{и1} := s_{p1} + c = 15.756 \text{ мм}$$

Принимаем толщину для корпуса аппарата:

$$s_1 := 16 \text{ мм}$$

Проверка условий применимости формул без моментной теории:

$$Us1_1 := \begin{cases} \text{"Формулы применимы"} & \text{if } \frac{s_1 - c}{D} \leq 0.1 \\ \text{"Формул НЕ верны"} & \text{if } \frac{s_1 - c}{D} > 0.1 \end{cases} = \text{"Формулы применимы"}$$

Расчет допускаемого внутреннего избыточного давления при рабочих условиях:

$$P_{д1} := \frac{2 \cdot \sigma_{Д\phi} \cdot (s_1 - c)}{D + (s_1 - c)} = 2.317 \text{ МПа}$$

Расчет допускаемого внутреннего избыточного давления при условиях испытания:

$$P_{д2} := \frac{2 \cdot \sigma_{и20} \cdot \phi \cdot (s_1 - c)}{D + (s_1 - c)} = 3.391 \text{ МПа}$$

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

$$Us1_2 := \begin{cases} \text{"Условие выполняется"} & \text{if } P_{д1} > P_p \\ \text{"Условие прочности НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases} = \text{"Условие выполняется"}$$

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

$$Us1_3 := \begin{cases} \text{"Условие выполняется"} & \text{if } P_{д2} > P_{и} \\ \text{"Условие прочности НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases} = \text{"Условие выполняется"}$$

3.2.3 Расчет эллиптического днища

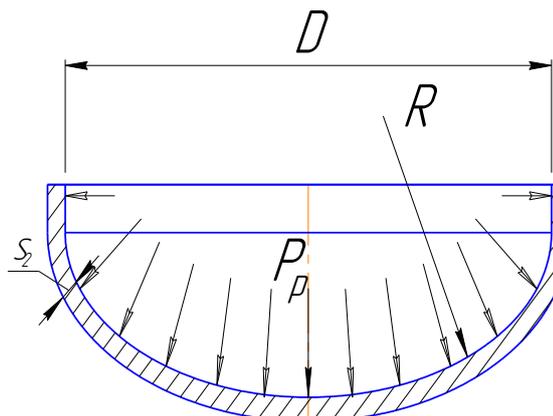


Рисунок 3.18 - Расчетная схема эллиптического стального отбортованного днища

Расчет проводим согласно [5, стр. 21]

Радиус кривизны в вершине днища равен: (для эллиптических днищ)

$$R_1 := D = 2.4 \times 10^3 \text{ мм}$$

Расчет толщины стенки крышки под действием внутреннего давления:

$$s_{p2} := \max \left(P_p \cdot \frac{R_1}{2 \cdot \phi \cdot \sigma_D - 0.5 \cdot P_p}, P_{и} \cdot \frac{R_1}{2 \cdot \phi \cdot \sigma_{и20} - 0.5 \cdot P_{и}} \right) = 14.711 \text{ мм}$$

Исполнительная толщина стеки днища:

$$s_{и2} := s_{p2} + c = 15.711 \text{ мм}$$

Принимаем толщину днища:

$$s_2 := 18 \text{ мм}$$

Проверка условий применимости расчетных формул без моментной теории для эллиптических днищ (крышек): [5, стр. 21]

$$Us1_4 := \begin{cases} \text{"формулы применяются"} & \text{if } 0.002 \leq \frac{s_2 - c}{D} \leq 0.1 \\ \text{"Условия НЕ выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases} = \text{"формулы применяются"}$$

$$Us1_5 := \begin{cases} \text{"формулы применяются"} & \text{if } 0.2 \leq \frac{h_B}{D} \leq 0.5 \\ \text{"Условия НЕ выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases} = \text{"формулы применяются"}$$

Расчет допускаемого внутреннего избыточного давления при рабочих условиях:

$$P_{д3} := \frac{2 \cdot \sigma_D \cdot \phi \cdot (s_2 - c)}{R_1 + (s_2 - c)} = 2.624 \text{ МПа}$$

Расчет допускаемого внутреннего избыточного давления при условиях гидроиспытаний:

$$P_{д4} := \frac{2 \cdot \sigma_{и20} \cdot \phi \cdot (s_2 - c)}{R_1 + (s_2 - c)} = 3.84 \text{ МПа}$$

Проверка условия прочности стенок, крышки от действия внутреннего давления при рабочих условиях:

$$Us1_6 := \begin{cases} \text{"Условие выполняется"} & \text{if } P_{дз} > P_p \\ \text{"Условие прочности НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases} = \text{"Условие выполняется"}$$

Проверка условия прочности стенок, крышки от действия внутреннего давления при условиях гидроиспытаний:

$$Us1_7 := \begin{cases} \text{"Условие выполняется"} & \text{if } P_{д4} > P_{и} \\ \text{"Условие прочности НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases} = \text{"Условие выполняется"}$$

Условное обозначение днища с $D = 2400$ мм, $s = 18$ мм и $h = 600$ мм из стали марки 16ГС «Днище 2400 X 18—600—16ГС ГОСТ 6533-68».

3.2.4 Подбор стандартных штуцеров

Подбираем стандартные штуцера с фланцами стальными приварными встык, с уплотнительной поверхностью выступ впадина, согласно [7]

Штуцер изготовлен из материала сталь 16ГС материал такой же, как и материал частей аппарата с которыми он соединен, для избежания увеличения скорости коррозий.

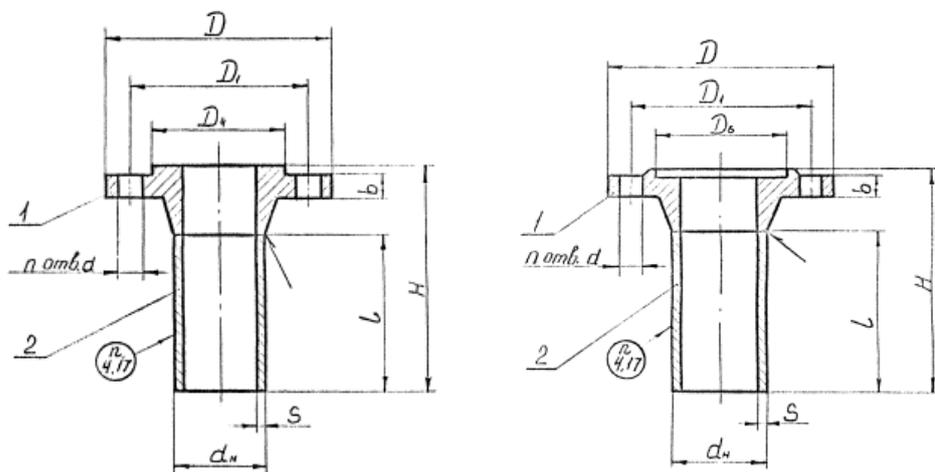


Рисунок 3.19 - штуцер с фланцами приваренными встык с уплотнительной поверхностью типа выступ впадина

Штуцер 200 - 4,0 - 2 - 2 - 215 - 16ГС АТК 24.218.06.90

Пример условного обозначения штуцера Ду 200 мм, Ру 4,0 МПа, типа 2, исполнения 2,

l = 215 мм, фланец из стали 16ГС, патрубок из стали 16ГС.

Штуцер 100 - 4,0 - 2 - 2 - 215 - 16ГС АТК 24.218.06.90

Пример условного обозначения штуцера Ду 100 мм, Ру 4,0 МПа, типа 2, исполнения 2,

l = 215 мм, фланец из стали 16ГС, патрубок из стали 16ГС.

Обозначение	Наименование	Кол.	Проход условн. Ду мм	Давление условное Ру МПа
Г	Вывод сжиж. газа	1	100	4,0
Д	Для вентиляции	1	200	4,0
Е	Для удал. остатка газа	1	100	4,0
Ж	Для предох. клапана	1	100	4,0
З	Сиг. уровня жидкости	1	100	4,0
К	Штуцер резервный	1	100	4,0
М	Люк - лаз	1	450	4,0

Таблица 3.2.1 - Наименование штуцеров

Dy	D	D ₁	D ₄	D ₆	b	d	n	d _H	S
мм	мм	мм	мм	мм	мм	мм		мм	мм
200	375	320	259	260	35	30	12	219	8
100	230	190	149	150	23	22	8	108	6

Таблица 3.2.2 - Параметры штуцеров.

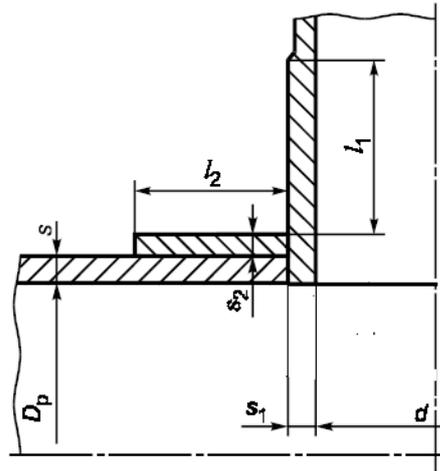


Рисунок 3.20 - Укрепление отверстий при наличии проходного штуцера

Расчет проводим: согласно [6]

Расчетный диаметр укрепляемых элементов:

Для цилиндрической оболочки:

$$D_p := D = 2.4 \times 10^3 \text{ мм}$$

Диаметр отверстий штуцеров диаметром 100 мм:

$$d_1 := 100 \text{ мм}$$

Диаметр отверстия штуцера вентиляции:

$$d_2 := 200 \text{ мм}$$

Диаметр отверстия люка-лаза:

$$d_3 := 450 \text{ мм}$$

Расчетный диаметр отверстий патрубков штуцеров диаметром 100 мм:

$$d_{p1} := d_1 + 2 \cdot c = 102 \text{ мм}$$

Расчетный диаметр отверстия патрубка штуцера вентиляции:

$$d_{p2} := d_2 + 2 \cdot c = 202 \text{ мм}$$

Расчетный диаметр отверстия патрубка штуцера люка-лаза:

$$d_{p3} := d_3 + 2 \cdot c = 452 \text{ мм}$$

Условие применимости формул к штуцерам с диаметром 100 мм:

$$Us1_8 := \begin{cases} \text{"Условия не выполняются"} & \text{if } \frac{d_{p1} - 2 \cdot c}{D} > 1 \wedge \frac{s_1 - c}{D} > 0.1 \\ \text{"Условия применения формул выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Us1_8 = "Условия применения формул выполняются"

Условие применимости формул к штуцеру вентиляции:

$$Us1_9 := \begin{cases} \text{"Условия не выполняются"} & \text{if } \frac{d_{p2} - 2 \cdot c}{D} > 1 \wedge \frac{s_1 - c}{D} > 0.1 \\ \text{"Условия применения формул выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Us1_9 = "Условия применения формул выполняются"

Условие применимости формул к штуцеру люка-лаза:

$$Us1_10 := \begin{cases} \text{"Условия не выполняются"} & \text{if } \frac{d_{p3} - 2 \cdot c}{D} > 1 \wedge \frac{s_1 - c}{D} > 0.1 \\ \text{"Условия применения формул выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Us1_10 = "Условия применения формул выполняются"

Расчетный диаметр одиночного отверстия, не требующий дополнительного укрепления при наличии избыточной толщины стенки сосуда: (для штуцеров цилиндрической обечайки)

$$d_{01} := 2 \cdot \left[\left(\frac{s_1 - c}{s_{p1}} \right) - 0.8 \right] \cdot \sqrt{D_p \cdot (s_1 - c)} = 82.165 \text{ мм}$$

Проверка необходимости укреплять отверстия штуцеров диаметром 100 мм на цилиндрической обечайке:

$$Us1_11 := \begin{cases} \text{"необходимо укрепление отверстия"} & \text{if } d_{p1} > d_{01} \\ \text{"укрепление отверстия не требуется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Us1_11 = "необходимо укрепление отверстия"

$$d_{p1} = 102 \text{ мм}$$

$$d_{01} = 82.165 \text{ мм}$$

Проверка необходимости укреплять отверстия штуцера вентиляции:

$$Us1_12 := \begin{cases} \text{"необходимо укрепление отверстия"} & \text{if } d_{p2} > d_{01} \\ \text{"укрепление отверстия не требуется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Us1_12 = "необходимо укрепление отверстия"

$$d_{p2} = 202 \text{ мм} \quad d_{01} = 82.165 \text{ мм}$$

Проверка необходимости укреплять отверстия штуцера люка-лаза:

$$Us1_13 := \begin{cases} \text{"необходимо укрепление отверстия"} & \text{if } d_{p3} > d_{01} \\ \text{"укрепление отверстия не требуется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Us1_13 = "необходимо укрепление отверстия"

$$d_{p3} = 452 \text{ мм} \quad d_{01} = 82.165 \text{ мм}$$

Расчет укрепления отверстия патрубков штуцеров диаметром 100 мм

Для дальнейшего расчета необходимо определить расчетную толщину стенки патрубка штуцера:

$$s_{p_ш1} := \max \left[\frac{P_p \cdot d_{p1}}{2 \cdot \sigma_D \cdot \phi - P_p}, \frac{P_{и} \cdot d_{p1}}{2 \cdot (\sigma_{и20} \cdot \phi - P_{и})} \right] = 0.631 \text{ мм}$$

Исполнительная толщина стенки патрубка штуцера:

$$s_{и_ш1} := s_{p_ш1} + c = 1.631 \text{ мм}$$

Принимаем толщину патрубка штуцера:

$$s_{ш1} := 6 \text{ мм}$$

Допускаемое напряжение для материала внешней части штуцера при расчетной температуре:

$$\sigma_{Д1} := \sigma_D = 186.5 \text{ МПа}$$

Допускаемое напряжение для материала накладного кольца при расчетной температуре:

$$\sigma_{Д2} := \sigma_D = 186.5 \text{ МПа}$$

Допускаемое напряжение для материала внутренней части штуцера:

$$\sigma_{ДЗ} := \sigma_{Д} = 186.5 \text{ МПа}$$

Отношения допускаемых напряжений:

- для внешней части штуцера:

$$\chi_1 := \min\left(1, \frac{\sigma_{Д1}}{\sigma_{Д}}\right) = 1$$

для накладного кольца:

$$\chi_2 := \min\left(1, \frac{\sigma_{Д2}}{\sigma_{Д}}\right) = 1$$

для внутренней части штуцера:

$$\chi_3 := \min\left(1, \frac{\sigma_{Д3}}{\sigma_{Д}}\right) = 1$$

Толщина внутренней части штуцера:

$$s_4 := 0 \text{ мм}$$

Толщина укрепляющего кольца: (задаем конструктивно)

$$s_5 := 4 \text{ мм}$$

Расчетная ширина накладного кольца:

$$l_{2\text{шт}} := \text{ceil}\left[\sqrt{D_p \cdot (s_1 + s_5 - c)}\right] = 214 \text{ мм}$$

Длина внешней части штуцера:

$$l_{1\text{шт}} := 1.25 \cdot \sqrt{(d_1 + 2 \cdot c) \cdot (s_{\text{шт}1} - c)} = 28.229 \text{ мм}$$

Исполнительная длина внешней части штуцера:

$$l_{1\text{шт}} := 210 \text{ мм}$$

Внутренней частью штуцера:

$$l_{3\text{шт}} := 0 \text{ мм}$$

Расчетный диаметр отверстия, не требующий дополнительного укрепления:

$$d_{\text{ор}} := 0.4 \cdot \sqrt{D_p \cdot (s_1 - c)} = 75.895 \text{ мм}$$

$$A_1 := l_{1\text{шт}} \cdot (s_{\text{шт}1} - s_{p_шт1} - c) \cdot \chi_1 + l_{2\text{шт}} \cdot s_5 \cdot \chi_2 + l_{3\text{шт}} \cdot (s_4 - c - c) \cdot \chi_3 = 1.773 \times 10^3$$

$$A_2 := 0.5 \cdot (d_{p1} - d_{op}) \cdot s_{шт1} = 78.316 \text{ мм}^2$$

Условие укрепления отверстия штуцера:

$$Us1_14 := \begin{cases} \text{"условие выполняется"} & \text{if } A_1 \geq A_2 \\ \text{"условие не выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases} = \text{"условие выполняется"}$$

$$A_1 = 1.773 \times 10^3 \text{ мм}^2$$

$$A_2 = 78.316 \text{ мм}^2$$

Ширина зоны укрепления в обечайке:

$$L_0 := \sqrt{D_p \cdot (s_1 - c)} = 189.737 \text{ мм}$$

Расчетная ширина зоны укрепления в обечайке:

$$l_p := L_0 = 189.737 \text{ мм}$$

Коэффициент понижения прочности:

$$K_1 := 1$$

$$V := \frac{1 + \frac{l_{1шт} \cdot (s_{шт1} - c) \cdot \chi_1 + l_{2шт} \cdot s_5 \cdot \chi_2 + l_{3шт} \cdot (s_4 - 2 \cdot c) \cdot \chi_3}{l_p \cdot (s_1 - c)}}{1 + 0.5 \cdot \frac{d_{p1} - d_{op}}{l_p} + K_1 \cdot \frac{d_1}{D_p} \cdot \frac{\phi}{\phi} \cdot \frac{l_{1шт}}{l_p}} = 1.498$$

Допускаемое давление при рабочих условиях:

$$P_{д_шт1} := \frac{2 \cdot K_1 \cdot (s_1 - c) \cdot \phi \cdot \sigma_D \cdot V}{D_p + (s_1 - c) \cdot V} = 3.459 \text{ МПа}$$

Допускаемое давление штуцера при гидроиспытаниях:

$$P_{д_шт2} := \frac{2 \cdot K_1 \cdot (s_1 - c) \cdot \phi \cdot \sigma_{и20} \cdot V}{D_p + (s_1 - c) \cdot V} = 5.063 \text{ МПа}$$

Проверка условия прочности в рабочих условиях:

$$Us1_15 := \begin{cases} \text{"Условие прочности выполняется"} & \text{if } P_{д_шт1} \geq P_p \\ \text{"Условие НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$Us1_15 = \text{"Условие прочности выполняется"}$$

$$P_{д_шт1} = 3.459 \text{ МПа}$$

$$P_p = 1.823 \text{ МПа}$$

Проверка условия прочности при гидроиспытаниях:

$$Us1_16 := \begin{cases} \text{"Условие прочности выполняется"} & \text{if } P_{д_шт2} \geq P_{и} \\ \text{"Условие НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Us1_16 = "Условие прочности выполняется"

$$P_{д_шт2} = 5.063 \text{ МПа}$$

$$P_{и} = 3.337 \text{ МПа}$$

Расчет укрепления отверстия патрубка штуцера вентиляции

Для дальнейшего расчета необходимо определить расчетную толщину стенки патрубка штуцера:

$$s_{р_шт1} := \max \left[\frac{P_{р} \cdot d_{p2}}{2 \cdot \sigma_{Д} \cdot \phi - P_{р}}, \frac{P_{и} \cdot d_{p2}}{2 \cdot (\sigma_{и20} \cdot \phi - P_{и})} \right] = 1.25 \text{ мм}$$

Исполнительная толщина стеки патрубка штуцера:

$$s_{и_шт1} := s_{р_шт1} + c = 2.25 \text{ мм}$$

Принимаем толщину патрубка штуцера:

$$s_{шт1} := 8 \text{ мм}$$

Допускаемое напряжение для материала внешней части штуцер при расчетной температуре:

$$\sigma_{Д1} := \sigma_{Д} = 186.5 \text{ МПа}$$

Допускаемое напряжение для материала накладного кольца при расчетной температуре:

$$\sigma_{Д2} := \sigma_{Д} = 186.5 \text{ МПа}$$

Допускаемое напряжение для материала внутренней части штуцера

$$\sigma_{Д3} := \sigma_{Д} = 186.5 \text{ МПа}$$

Отношения допускаемых напряжений:

для внешней части штуцера:

$$\chi_{1.1} := \min \left(1, \frac{\sigma_{Д1}}{\sigma_{Д}} \right) = 1$$

для накладного кольца:

$$\chi_2 := \min\left(1, \frac{\sigma_{D2}}{\sigma_D}\right) = 1$$

для внутренней части штуцера:

$$\chi_3 := \min\left(1, \frac{\sigma_{D3}}{\sigma_D}\right) = 1$$

Толщина внутренней части штуцера:

$$s_4 := 0 \text{ мм}$$

Толщина укрепляющего кольца: (задаем конструктивно)

$$s_5 := 4 \text{ мм}$$

Расчетная ширина накладного кольца:

$$l_{2\text{шт}} := \text{ceil}\left[\sqrt{D_p \cdot (s_1 + s_5 - c)}\right] = 214 \text{ мм}$$

Длина внешней части штуцера:

$$l_{1\text{шт}} := 1.25 \cdot \sqrt{(d_2 + 2 \cdot c) \cdot (s_{\text{шт}1} - c)} = 47.004 \text{ мм}$$

Исполнительная длина внешней части штуцера:

$$l_{1\text{шт}} := 210 \text{ мм}$$

Внутренней частью штуцера:

$$l_{3\text{шт}} := 0 \text{ мм}$$

Расчетный диаметр отверстия, не требующий дополнительного укрепления:

$$d_{\text{ор}} := 0.4 \cdot \sqrt{D_p \cdot (s_1 - c)} = 75.895 \text{ мм}$$

$$A_1 := l_{1\text{шт}} \cdot (s_{\text{шт}1} - s_{p_шт1} - c) \cdot \chi_1 + l_{2\text{шт}} \cdot s_5 \cdot \chi_2 + l_{3\text{шт}} \cdot (s_4 - c - c) \cdot \chi_3 = 2.064 \times 10^3$$

$$A_2 := 0.5 \cdot (d_{p2} - d_{\text{ор}}) \cdot s_{\text{шт}1} = 504.421 \text{ мм}^2$$

Условие укрепления отверстия штуцера:

$$Us1_{17} := \begin{cases} \text{"условие выполняется"} & \text{if } A_1 \geq A_2 \\ \text{"условие не выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases} = \text{"условие выполняется"}$$

$$A_1 = 2.064 \times 10^3 \text{ мм}^2$$

$$A_2 = 504.421 \text{ мм}^2$$

Ширина зоны укрепления в обечайке:

$$L_0 := \sqrt{D_p \cdot (s_1 - c)} = 189.737 \text{ мм}$$

Расчетная ширина зоны укрепления в обечайке:

$$l_p := L_0 = 189.737 \text{ мм}$$

Коэффициент понижения прочности:

$$K_1 := 1$$

$$V := \frac{1 + \frac{l_{1\text{шт}} \cdot (s_{\text{шт}1} - c) \cdot \chi_1 + l_{2\text{шт}} \cdot s_5 \cdot \chi_2 + l_{3\text{шт}} \cdot (s_4 - 2 \cdot c) \cdot \chi_3}{l_p \cdot (s_1 - c)}}{1 + 0.5 \cdot \frac{d_{p2} - d_{op}}{l_p} + K_1 \cdot \frac{d_2}{D_p} \cdot \frac{\phi}{\phi} \cdot \frac{l_{1\text{шт}}}{l_p}} = 1.276$$

Допускаемое давление при рабочих условиях:

$$P_{\text{д_шт1}} := \frac{2 \cdot K_1 \cdot (s_1 - c) \cdot \phi \cdot \sigma_D \cdot V}{D_p + (s_1 - c) \cdot V} = 2.95 \text{ МПа}$$

Допускаемое давление штуцера при гидроиспытаниях:

$$P_{\text{д_шт2}} := \frac{2 \cdot K_1 \cdot (s_1 - c) \cdot \phi \cdot \sigma_{\text{и}20} \cdot V}{D_p + (s_1 - c) \cdot V} = 4.319 \text{ МПа}$$

Проверка условия прочности в рабочих условиях:

$$Us1_18 := \begin{cases} \text{"Условие прочности выполняется"} & \text{if } P_{\text{д_шт1}} \geq P_p \\ \text{"Условие НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Us1_18 = "Условие прочности выполняется"

$$P_{\text{д_шт1}} = 2.95 \text{ МПа}$$

$$P_p = 1.823 \text{ МПа}$$

Проверка условия прочности при гидроиспытаниях:

$$Us1_19 := \begin{cases} \text{"Условие прочности выполняется"} & \text{if } P_{\text{д_шт2}} \geq P_{\text{и}} \\ \text{"Условие НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Us1_19 = "Условие прочности выполняется"

$$P_{\text{д_шт2}} = 4.319 \text{ МПа}$$

$$P_{\text{и}} = 3.337 \text{ МПа}$$

3.2.5 Расчет укрепления отверстия патрубка штуцера люка-лаза

Для дальнейшего расчета необходимо определить расчетную толщину стенки патрубка штуцера:

$$s_{p_ш1} := \max \left[\frac{P_p \cdot d_{p3}}{2 \cdot \sigma_D \cdot \phi - P_p}, \frac{P_{и} \cdot d_{p3}}{2 \cdot (\sigma_{и20} \cdot \phi - P_{и})} \right] = 2.796 \text{ мм}$$

Исполнительная толщина стенки патрубка штуцера:

$$s_{и_ш1} := s_{p_ш1} + c = 3.796 \text{ мм}$$

Принимаем толщину патрубка штуцера:

$$s_{ш1} := 12 \text{ мм}$$

Допускаемое напряжение для материала внешней части штуцера при расчетной температуре:

$$\sigma_{Д1} := \sigma_D = 186.5 \text{ МПа}$$

Допускаемое напряжение для материала накладного кольца при расчетной температуре:

$$\sigma_{Д2} := \sigma_D = 186.5 \text{ МПа}$$

Допускаемое напряжение для материала внутренней части штуцера:

$$\sigma_{Д3} := \sigma_D = 186.5 \text{ МПа}$$

Отношения допускаемых напряжений:

для внешней части штуцера:

$$\chi_{1} := \min \left(1, \frac{\sigma_{Д1}}{\sigma_D} \right) = 1$$

для накладного кольца:

$$\chi_{2} := \min \left(1, \frac{\sigma_{Д2}}{\sigma_D} \right) = 1$$

для внутренней части штуцера:

$$\chi_{3} := \min \left(1, \frac{\sigma_{Д3}}{\sigma_D} \right) = 1$$

Толщина внутренней части штуцера:

$$s_4 := 0 \text{ мм}$$

Толщина укрепляющего кольца: (задаем конструктивно)

$$s_5 := 6 \text{ мм}$$

Расчетная ширина накладного кольца:

$$l_{\text{шт}} := \text{ceil} \left[\sqrt{D_p \cdot (s_1 + s_5 - c)} \right] = 225 \text{ мм}$$

Длина внешней части штуцера:

$$l_{1\text{шт}} := 1.25 \cdot \sqrt{(d_3 + 2 \cdot c) \cdot (s_{\text{шт}} - c)} = 88.141 \text{ мм}$$

Исполнительная длина внешней части штуцера:

$$l_{1\text{шт}} := 210 \text{ мм}$$

Внутренней частью штуцера:

$$l_{3\text{шт}} := 0 \text{ мм}$$

Расчетный диаметр отверстия, не требующий дополнительного укрепления:

$$d_{\text{ор}} := 0.4 \cdot \sqrt{D_p \cdot (s_1 - c)} = 75.895 \text{ мм}$$

$$A_1 := l_{1\text{шт}} \cdot (s_{\text{шт}} - s_{p_шт} - c) \cdot \chi_1 + l_{2\text{шт}} \cdot s_5 \cdot \chi_2 + l_{3\text{шт}} \cdot (s_4 - c - c) \cdot \chi_3 = 3.073 \times 10^3$$

$$A_2 := 0.5 \cdot (d_{p3} - d_{\text{ор}}) \cdot s_{\text{шт}} = 2.257 \times 10^3 \text{ мм}^2$$

Условие укрепления отверстия штуцера:

$$Us1_20 := \begin{cases} \text{"условие выполняется"} & \text{if } A_1 \geq A_2 \\ \text{"условие не выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases} = \text{"условие выполняется"}$$

$$A_1 = 3.073 \times 10^3 \text{ мм}^2$$

$$A_2 = 2.257 \times 10^3 \text{ мм}^2$$

Ширина зоны укрепления в обечайке:

$$L_0 := \sqrt{D_p \cdot (s_1 - c)} = 189.737 \text{ мм}$$

Расчетная ширина зоны укрепления в обечайке:

$$l_p := L_0 = 189.737 \text{ мм}$$

Коэффициент понижения прочности:

$$K_1 := 1$$

$$V := \frac{1 + \frac{l_{1\text{шт}} \cdot (s_{\text{шт}1} - c) \cdot \chi_1 + l_{2\text{шт}} \cdot s_5 \cdot \chi_2 + l_{3\text{шт}} \cdot (s_4 - 2 \cdot c) \cdot \chi_3}{l_p \cdot (s_1 - c)}}{1 + 0.5 \cdot \frac{d_{p3} - d_{op}}{l_p} + K_1 \cdot \frac{d_3}{D_p} \cdot \frac{\phi}{\phi} \cdot \frac{l_{1\text{шт}}}{l_p}} = 1.04$$

Допускаемое давление при рабочих условиях:

$$P_{\text{д_шт}3} := \frac{2 \cdot K_1 \cdot (s_1 - c) \cdot \phi \cdot \sigma_{\text{Д}} \cdot V}{D_p + (s_1 - c) \cdot V} = 2.408 \text{ МПа}$$

Допускаемое давление штуцера при гидроиспытаниях:

$$P_{\text{д_шт}4} := \frac{2 \cdot K_1 \cdot (s_1 - c) \cdot \phi \cdot \sigma_{\text{И}20} \cdot V}{D_p + (s_1 - c) \cdot V} = 3.525 \text{ МПа}$$

Проверка условия прочности в рабочих условиях:

$$Us1_21 := \begin{cases} \text{"Условие прочности выполняется"} & \text{if } P_{\text{д_шт}3} \geq P_p \\ \text{"Условие НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Us1_21 = "Условие прочности выполняется"

$$P_{\text{д_шт}3} = 2.408 \text{ МПа} \quad P_p = 1.823 \text{ МПа}$$

Проверка условия прочности при гидроиспытаниях:

$$Us1_22 := \begin{cases} \text{"Условие прочности выполняется"} & \text{if } P_{\text{д_шт}4} \geq P_{\text{И}} \\ \text{"Условие НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Us1_22 = "Условие прочности выполняется"

$$P_{\text{д_шт}4} = 3.525 \text{ МПа} \quad P_{\text{И}} = 3.337 \text{ МПа}$$

Стандартный люк - лаза для емкости хранения метанольной воды:[14]

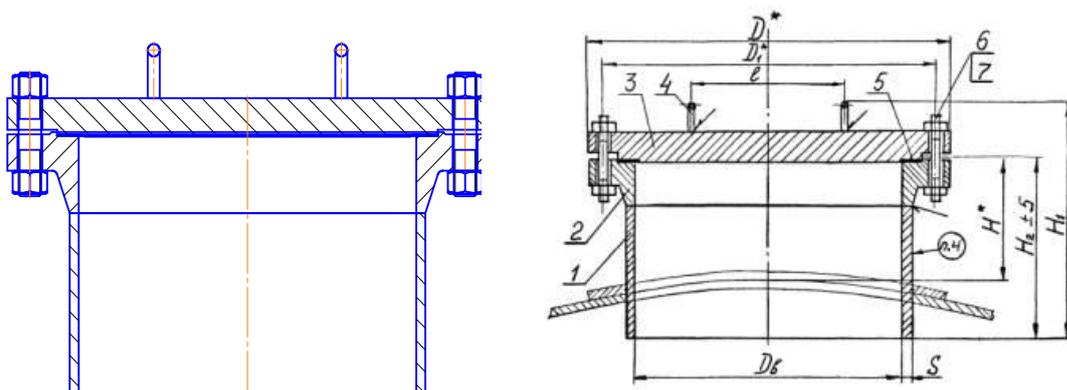


Рисунок 3.21 - Люк с фланцами, приварными встык, с уплотнительной поверхностью "выступ-впадина" стальных сварных сосудов и аппаратов

D_6 , мм	D^* мм	D^*1 мм	H_1 , мм	H_2 , мм	l , мм	s , мм	Давление условное МПа
450	640	580	250	470	250	12	4,0

Таблица 3.2.3 - Люк-лаз с гладкой уплотнительной поверхностью

3.2.6 Расчет на прочность плоской крышки люка-лаза

Расчет проводим согласно [5, стр. 30]

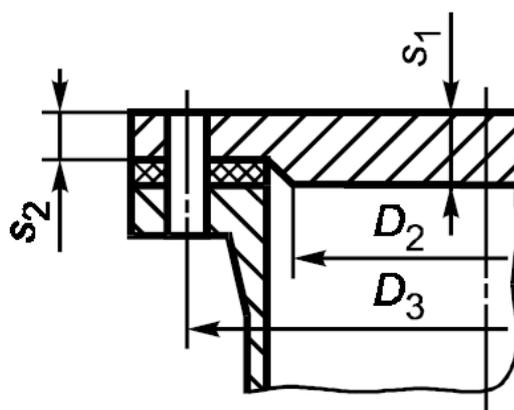


Рисунок 3.22 - Схема плоской крышки

Расчетный диаметр:

$$D_{р} := 450 \text{ мм}$$

Коэффициент, зависящий от способа закрепления крышки:

$$K := 0.4$$

Коэффициент ослабления, при отсутствии отверстий в крышке:

$$K_0 := 1$$

Расчетная толщина крышки:

$$s_{PK} := \max \left(\left(\begin{array}{l} K \cdot K_0 \cdot D_p \cdot \sqrt{\frac{P_p}{\phi \cdot \sigma_D}} \\ K \cdot K_0 \cdot D_p \cdot \sqrt{\frac{P_i}{\phi \cdot \sigma_{и20}}} \end{array} \right) \right) = 19.899 \text{ мм}$$

Исполнительная толщина стенки крышки:

$$s_{иК} := s_{PK} + c = 20.899 \text{ мм}$$

Принимаем исполнительную толщину крышки:

$$s_K := 41 \text{ мм}$$

Проверка условий применимости формул для расчета плоских крышек:

$$Us1_23 := \begin{cases} \text{"Условия выполняются"} & \text{if } \frac{25 - c}{D_p} \leq 0.11 \\ \text{"Условия НЕ выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases} = \text{"Условия выполняются"}$$

Расчет допускаемого внутреннего избыточного давления:

допускаемое внутреннее давление при гидроиспытаниях:

$$P_{д5} := \left[\frac{(s_K - c)}{(K \cdot K_0 \cdot D_p)} \right]^2 \cdot \phi \cdot \sigma_D = 9.21 \text{ МПа}$$

допускаемое внутреннее давление при рабочих условиях:

$$P_{д6} := \left[\frac{(s_K - c)}{(K \cdot K_0 \cdot D_p)} \right]^2 \cdot \phi \cdot \sigma_{и20} = 13.481 \text{ МПа}$$

Проверка условия прочности стенки крышки:

Проверка условия прочности крышки от действия внутреннего давления при гидроиспытаниях:

$$Us1_24 := \begin{cases} \text{"Условие прочности стенки крышки выполняется"} & \text{if } P_{д6} > P_i \\ \text{"Условие прочности НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$Us1_24 = \text{"Условие прочности стенки крышки выполняется"}$$

Проверка условия прочности крышки от действия внутреннего давления при рабочих условиях:

$$Us1_25 := \begin{cases} \text{"Условие прочности стенки крышки выполняется"} & \text{if } P_{д5} > P_p \\ \text{"Условие прочности НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$Us1_25 = \text{"Условие прочности стенки крышки выполняется"}$

3.2.6 Расчет веса аппарата

Ускорение свободного падения:

$$g = 9.8 \text{ м/с}^2$$

Расчет веса корпуса аппарата:

Внутренний диаметр аппарата:

$$D := 2.4 \text{ м}$$

Толщина стенки обечайки:

$$s_1 := 0.018 \text{ м}$$

Плотность материала сталь: сталь 16ГС

$$\rho_{мет} := 7850 \text{ кг/м}^3$$

Вес кожуха обечайки аппарата:

$$G_{кож} := \pi \cdot \left[\frac{(D + 2 \cdot s_1)^2 - D^2}{4} \right] \cdot 10 \cdot \rho_{мет} \cdot g = 1.052 \times 10^5 \text{ Н}$$

Масса днища: согласно [2, стр. 441]

$$m_{дн} := 962 \text{ кг}$$

Вес эллиптического днища аппарата:

$$G_{д.эл} := m_{дн} \cdot g = 9.428 \times 10^3 \text{ Н}$$

Вес пустого аппарата:

$$G_{ап} := 2G_{д.эл} + G_{кож} = 1.24 \times 10^5 \text{ Н}$$

Объем аппарата:

$$V_{ап} := 50 \text{ м}^3$$

Вес жидкости (вода) при гидроиспытаниях:

$$G_{\text{жид1}} := V_{\text{ап}} \cdot \rho_{\text{вод}} \cdot g = 4.89 \times 10^5 \text{ Н}$$

Вес аппарата заполненного жидкостью при гидроиспытаниях:

$$G_{\text{ап1}} := G_{\text{ап}} + G_{\text{жид1}} = 6.131 \times 10^5 \text{ Н}$$

3.2.7 Подбор стандартных опор аппарата

Проводим по [15] опоры неподвижной с допускаемой нагрузкой 630 кН, с радиусом $R = 1224$ мм, исполнением по материалу 3:

Опора 630-1224-3 ОСТ 26-2091-93.

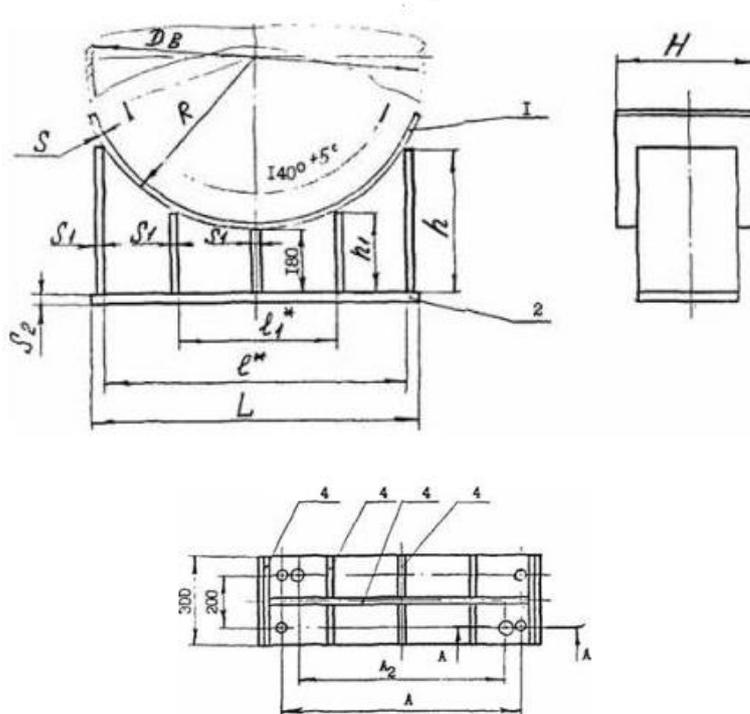


Рисунок 3.23 - Опора горизонтальная с внутренним диаметром 2400

D	G	S ₁	S ₂	R	L	L ₁	l	l ₁	h	h ₁	A	A ₁
мм	кН	мм	мм		мм	мм	мм	мм	мм	мм	мм	м
2400	630	14	20	1520	2120	2140	2030	1057	720	300	1800	1,4

Таблица 3.2.4 - параметры и размеры опоры

Расчет опор аппарата

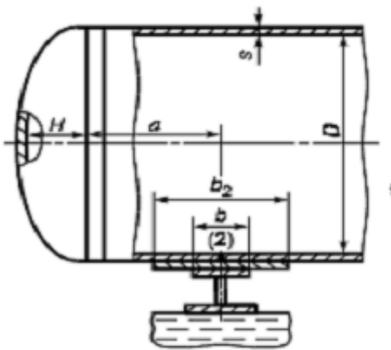


Рисунок 3.24 - Цилиндрическая обечайка, не подкрепленная элементами жесткости

Расчет ведем согласно [13]

Опора имеет одно ребро.

Внутренний диаметр обечайки:

$$D := 2400 \text{ мм}$$

Толщина стенки обечайки:

$$s_1 := 16 \text{ мм}$$

Прибавки к расчетным толщинам конструктивных элементов:

$$c = 1 \text{ мм}$$

Ширина опоры:

$$b := 300 \text{ мм}$$

Ширина подкладного листа:

$$b_2 := 400 \text{ мм}$$

Угол охвата опоры:

$$\delta_1 := 120^\circ \text{С}$$

Угол охвата листа:

$$\delta_2 := 140^\circ \text{С}$$

Расстояние до днища:

$$a := 1700 \text{ мм}$$

Высота опоры:

$$H := 300 \text{ мм}$$

Толщина подкладного листа:

$$s_{\text{Л}} := 3 \text{ мм}$$

Толщина опоры:

$$s_{\text{ОП}} := 6 \text{ мм}$$

Плотность жидкости (вода):

$$\rho_{\text{ВОД}} = 998 \text{ кг/м}^3$$

Максимальное давление в межтрубном пространстве:

$$P_{\text{И}} = 3.337 \text{ МПа}$$

Коэффициенты запаса прочности:

$$n_{\text{И}} := 1.8$$

для условий испытаний

$$\sigma_{\text{И}20} = 273 \text{ МПа}$$

коэффициент запаса устойчивости, при гидроиспытаниях:

$$n_{\text{У}} := 1.8$$

Модуль упругости материала фланца 16ГС согласно [3, стр. 27, таблица В1]

для низколегированных сталей, при температуре 20°C:

$$E_{20} := 1.99 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

Определим допускаемые осевые сжимающие усилия согласно [5]

Для условий гидроиспытаний.

Определим допускаемое осевое сжимающее усилие из условия прочности:

$$F_{\text{д.п1}} := \pi \cdot (D + s_1 - c)(s_1 - c) \cdot \sigma_{\text{И}20} = 3.107 \times 10^7 \text{ Н}$$

Допускаемое осевое сжимающее усилие из условия местной устойчивости в пределах упругости:

$$F_{\text{дЕ11}} := \frac{31 \cdot 10^{-5} \cdot E_{20}}{n_{\text{У}}} \cdot D^2 \cdot \left[\frac{100 \cdot (s_1 - c)}{D} \right]^{2.5} = 6.096 \times 10^7 \text{ Н}$$

Приведенная расчетная длина:

$$l_{\text{пр}} := 11360 \text{ мм}$$

Гибкость λ :

$$\lambda := \frac{2.83 \cdot l_{\text{пр}}}{D + s_1 - c} = 13.312$$

Допускаемое осевое сжимающее усилие из условия общей устойчивости в пределах упругости:

$$F_{\text{дЕ21}} := \frac{\pi \cdot (D + s_1 - c) \cdot (s_1 - c) \cdot E_{20}}{n_y} \cdot \left(\frac{\pi}{\lambda}\right)^{2.5} = 3.404 \times 10^8 \text{ Н}$$

Допускаемое осевое сжимающее усилие в пределах упругости из условия устойчивости:

$$F_{\text{дЕ1}} := \begin{cases} \min(F_{\text{дЕ11}}, F_{\text{дЕ21}}) & \text{if } \frac{l_{\text{пр}}}{D} \geq 10 \\ F_{\text{дЕ11}} & \text{if } \frac{l_{\text{пр}}}{D} < 10 \end{cases} = 6.096 \times 10^7 \text{ Н}$$

Допускаемое осевое сжимающее усилие для рабочих условий:

$$F_{\text{д.р1}} := \frac{F_{\text{д.п1}}}{\sqrt{1 + \left(\frac{F_{\text{д.п1}}}{F_{\text{дЕ1}}}\right)^2}} = 2.768 \times 10^7 \text{ Н}$$

Определим допускаемый изгибающий момент.

$\phi_3 = 0.85$ - коэффициент снижения допускаемых напряжений [5]

$$M_{\text{д1}} := \frac{\pi}{4} \cdot D \cdot (D + s_1 - c) \cdot (s_1 - c) \cdot \sigma_{\text{и20}} \cdot \phi_3 = 1.584 \times 10^{10} \text{ Н*мм}$$

Определим допускаемое осевое сжимающее усилие из условия прочности:

$$Q_{\text{д.п1}} := 0.25\pi \cdot D(s_1 - c) \cdot \sigma_{\text{и20}} = 7.719 \times 10^6 \text{ Н}$$

Определим допускаемое осевое сжимающее усилие в пределах упругости из условия местной устойчивости:

$$Q_{д.Е1} := \frac{2.4 \cdot E_{20} \cdot (s_1 - c)^2}{n_y} \cdot \left[0.18 + 3.3 \frac{D \cdot (s_1 - c)}{l_{пр}^2} \right] = 1.08 \times 10^7 \text{ Н}$$

Допускаемое осевое сжимающее усилие для рабочих условий:

$$Q_{д1} := \frac{Q_{д.п1}}{\sqrt{1 + \left(\frac{Q_{д.п1}}{Q_{д.Е1}} \right)^2}} = 6.28 \times 10^6 \text{ Н}$$

3.2.9 Определения расчетных усилий

Проверка устойчивости аппарата осуществляется согласно [13], путем сравнения моментов и усилий от опор с допускаемыми нагрузок. Поэтому для дальнейшего расчета необходимо определить значения допускаемых усилий и моментов.

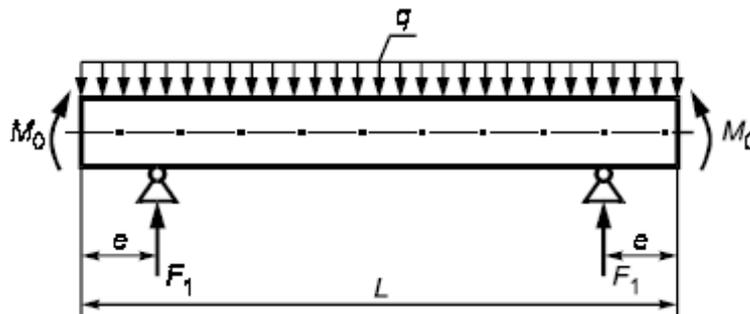


Рисунок 3.25 - Расчетная схема определения усилий

Расчетные формулы применимые при выполнении условий:

$$Us1_{26} := \begin{cases} \text{"формулы применимы"} & \text{if } \begin{cases} 60 \leq \delta_1 \leq 180 \\ \delta_2 \geq \delta_1 + 20 \\ \frac{s_1 - c}{D} \leq 0.5 \end{cases} \\ \text{"формулы НЕ применимы"} & \text{otherwise} \end{cases} = \text{"формулы применимы"}$$

Высота выпуклой части крышки:

$$H_k := 600 \text{ мм}$$

Распределенная нагрузка сосуда:

$$q_1 := \frac{G_{ап1}}{l_{пр} \cdot \frac{4}{3} \cdot H_K} = 0.067 \text{ Н/мм}$$

$$M_{01} := q_1 \cdot \frac{D^2}{16} = 2.429 \times 10^4 \text{ Н*мм}$$

Опорное усилие:

$$F_{11} := \frac{G_{ап1}}{2} = 3.065 \times 10^5 \text{ Н}$$

Момент над опорой:

$$e := a = 1.7 \times 10^3 \text{ мм}$$

$$M_{11} := \frac{q_1 \cdot e^2}{2} - M_{01} = 7.319 \times 10^4 \text{ Н*мм}$$

Максимальный момент между опорами 1 и 2:

$$M_{12p} := M_{01} + F_{11} \cdot \left(\frac{l_{пр}}{2} - a \right) - \frac{q_1}{2} \left(\frac{l_{пр}}{2} + \frac{2}{3} \cdot H_K \right)^2 = 1.219 \times 10^9 \text{ Н*мм}$$

Несущую способность обечайки в сечении между опорами следует проверять при условии:

$$Us1_{27} := \begin{cases} \text{"следует проверять"} & \text{if } M_{12p} > M_{11} \\ \text{"следует НЕ проверять"} & \text{otherwise} \end{cases} = \text{"следует проверять"}$$

Поперечное усилие в сечении оболочки над опорой:

$$Q_{1p} := \frac{l_{пр} - 2 \cdot a}{l_{пр} + \frac{4}{3} \cdot H_K} \cdot F_{11} = 2.007 \times 10^5 \text{ Н}$$

Проверка несущей способности обечайки в сечении между опорами.

Определим коэффициент K_9 :

$$y := \frac{D}{(s_1 - c)} = 160$$

$$x := \frac{l_{\text{пр}}}{D} = 4.733$$

$$K_{9.1} := 1.6 - 0.20924 \cdot (x - 1) + 0.028702 \cdot x \cdot (x - 1) + 0.4795 \cdot 10^{-3} \cdot y \cdot (x - 1)$$

$$K_{9.2} := -0.29936 \cdot 10^{-2} \cdot (x - 1) \cdot x^2 - 0.85692 \cdot 10^{-6} \cdot (x - 1) \cdot y^2$$

$$K_{9.3} := -0.75955 \cdot 10^{-8} \cdot y^2 \cdot (x - 1) \cdot x + 0.82748 \cdot 10^{-4} \cdot (x - 1) \cdot x^3$$

$$K_{9.4} := 0.88174 \cdot 10^{-6} \cdot x^2 \cdot (x - 1) \cdot y - 0.2391 \cdot 10^{-6} \cdot x \cdot y \cdot (x - 1) + 0.48168 \cdot 10^{-9} \cdot (x - 1) \cdot y^3$$

$$K_9 := \max(K_{9.1} + K_{9.2} + K_{9.3} + K_{9.4}, 1) = 1.328$$

Проверим условие прочности:

$$\frac{P_{\text{и}} \cdot D}{4(s_1 - c)} + \frac{4 \cdot M_{12p} \cdot K_9}{\pi \cdot D^2(s_1 - c)} = 157.312$$

$$Us1_28 := \begin{cases} \text{"Условия прочности выполняются"} & \text{if } \sigma_{\text{и}20} \geq \frac{P_{\text{и}} \cdot D}{4(s_1 - c)} + \frac{4 \cdot M_{12p} \cdot K_9}{\pi \cdot D^2(s_1 - c)} \\ \text{"Условия прочности не выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Us1_28 = "Условия прочности выполняются"

Условие устойчивости в условиях гидроиспытаний:

$$\frac{M_{12p}}{M_{\text{д1}}} = 0.077$$

$$Us1_29 := \begin{cases} \text{"Условие устойчивости выполняется"} & \text{if } 1 > \frac{M_{12p}}{M_{\text{д1}}} \\ \text{"Условие устойчивости не выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Us1_29 = "Условие устойчивости выполняется"

Проверка несущей способности оболочки, не укрепленной кольцами жесткости в области опорного узла:

Расчет №1

Подкладной лист рассматривают как седловую опору шириной b_2 с углом охвата δ_2 :

$$\delta_2 := 2.44 \text{ радиан}$$

Параметр, определяемый расстоянием до днища:

$$\gamma := 2.83 \cdot \frac{a}{D} \cdot \sqrt{\frac{(s_1 - c)}{D}} = 0.158$$

Параметр, определяемый шириной пояса опоры, вычисляются по формуле:

$$\beta_1 := 0.91 \cdot \frac{b_2}{\sqrt{D \cdot (s_1 - c)}} = 1.918$$

Общее меридиональное мембранное напряжение изгиба:

$$\sigma_{\text{mx}} := \frac{4 \cdot M_{11}}{\pi \cdot D^2 \cdot (s_1 - c)} = 1.079 \times 10^{-3} \text{ МПа}$$

Коэффициент, учитывающий влияние угла охвата опоры:

$$K_{13} := \frac{1}{\sin(0.5 \cdot \delta_2)} \cdot \max\left(1.7 - \frac{2.1 \cdot \delta_2}{\pi}, 0\right) = 0.073$$

Коэффициент, учитывающий влияние расстояния до днища:

$$K_{15} := \min\left(1, \frac{0.8 \cdot \sqrt{\gamma} + 6 \cdot \gamma}{\delta_2}\right) = 0.52$$

Коэффициент, учитывающий влияние угла охвата опоры:

$$K_{12} := \frac{1.15 - 0.1432 \cdot \sin(\delta_2)}{\sin(0.5 \cdot \delta_2)} = 1.126$$

Коэффициент, учитывающий влияние ширины пояса опоры:

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

Коэффициент ν_1 для определения коэффициента K_1 :

$$\nu_1 := \frac{-0.23 \cdot K_{13} \cdot K_{15}}{K_{12} \cdot K_{10}} = -0.031$$

Коэффициент K_2

В условиях испытаний: $K_{2н}=1.05$

$$\nu_{21} := -\sigma_{\text{mx}} \cdot \frac{1}{K_{2\text{И}} \cdot \sigma_{\text{И20}}} = -3.763 \times 10^{-6}$$

$$\nu_{22} := \frac{1}{K_{2\text{И}} \cdot \sigma_{\text{И20}}} \cdot \left[\frac{D \cdot P_{\text{И}}}{4 \cdot (s_1 - c)} - \sigma_{\text{mx}} \right] = 0.466$$

Общее мембранное напряжение в эллиптическом днище:

$$\sigma_{\text{м}} := \frac{D \cdot P_{\text{И}}}{4 \cdot (s_1 - c)} = 133.461 \text{ МПа}$$

$$\nu_2 := \frac{\sigma_{\text{м}}}{K_{2\text{И}} \cdot \sigma_{\text{И20}} \cdot \phi} = 0.466$$

При $\nu_2 < 0$ принимают $\nu_2 = |\nu_2|$, а знак ν_1 меняют на обратный:

$$K_1 := \frac{1 - \nu_2}{\left(\frac{1}{3} + \nu_2 \cdot \nu_1 \right) + \sqrt{\left(\frac{1}{3} + \nu_2 \cdot \nu_1 \right)^2 + (1 - \nu_2^2) \cdot \nu_1^2}} = 0.837$$

При $\nu_{21} < 0$ принимают $\nu_{21} = |\nu_{21}|$, а знак ν_1 меняют на обратный:

$$\nu_{11} := |\nu_1| = 0.031 \quad \nu_{21} = 3.763 \times 10^{-6}$$

$$K_{\nu_{11}} := \frac{1 - \nu_{21}}{\left(\frac{1}{3} + \nu_{21} \cdot \nu_1 \right) + \sqrt{\left(\frac{1}{3} + \nu_{21} \cdot \nu_1 \right)^2 + (1 - \nu_{21}^2) \cdot \nu_1^2}} = 1.498$$

$$K_{\nu_{21}} := \frac{1 - \nu_{22}}{\left(\frac{1}{3} + \nu_{22} \cdot \nu_1 \right) + \sqrt{\left(\frac{1}{3} + \nu_{22} \cdot \nu_1 \right)^2 + (1 - \nu_{22}^2) \cdot \nu_1^2}} = 0.767$$

$$K_1 := \min(K_{\nu_{21}}, K_{\nu_{11}}) = 0.767$$

Предельное напряжение изгиба:

$$\sigma_{\text{И2}} := K_1 \cdot K_{2\text{И}} \cdot \sigma_{\text{И20}} = 219.944 \text{ МПа}$$

Допускаемое опорное усилие от нагружения в меридиональном направлении:

$$F_{\text{доп21}} := \frac{0.7 \cdot \sigma_{\text{И2}} \cdot \sqrt{D \cdot (s_1 - c) \cdot (s_1 - c)}}{K_{10} \cdot K_{12}} = 4.019 \times 10^5 \text{ Н}$$

Коэффициент, учитывающий влияние угла охвата опоры:

$$K_{14} := \frac{1.45 - 0.43 \cdot \delta_2}{\sin(0.5 \cdot \delta_2)} = 0.427$$

Коэффициент, учитывающий влияние расстояния до днища:

$$K_{16} := 1 - \frac{0.65}{1 + (6 \cdot \gamma)^2} \cdot \sqrt{\frac{\pi}{3 \cdot \delta_2}} = 0.776$$

Коэффициент, учитывающий влияние ширины пояса опоры:

$$K_{17} := \frac{1}{1 + 0.6 \cdot \delta_2 \cdot \frac{b_2}{D} \cdot \sqrt{\frac{D}{(s_1 - c)}}} = 0.43$$

Коэффициент, учитывающий влияние ширины пояса опоры:

$$K_{11} := \frac{1 - e^{-\beta_1} \cdot \cos(\beta_1)}{\beta_1} = 0.521$$

Коэффициент v_1 для определения коэффициента K_1 :

$$v_{11} := \frac{-0.53 \cdot K_{11}}{K_{14} \cdot K_{16} \cdot K_{17} \cdot \sin(0.5 \cdot \delta_2)} = -2.064$$

$$v_{21} := 0$$

$$v_{22} := \frac{D \cdot P_{II}}{2 \cdot (s_1 - c)} \cdot \frac{1}{(K_{2II} \cdot \sigma_{II20})} = 0.931$$

$$K_{v21} := \frac{1 - v_{22}}{\left(\frac{1}{3} + v_{22} \cdot v_1\right) + \sqrt{\left(\frac{1}{3} + v_{22} \cdot v_1\right)^2 + (1 - v_{22}^2) \cdot v_1^2}} = 0.122$$

$$K_{v11} := \frac{1 - v_{21}}{\left(\frac{1}{3} + v_{21} \cdot v_1\right) + \sqrt{\left(\frac{1}{3} + v_{21} \cdot v_1\right)^2 + (1 - v_{21}^2) \cdot v_1^2}} = 0.203$$

$$K_1 := \min(K_{v21}, K_{v11}) = 0.122$$

Предельное напряжение изгиба:

$$\sigma_{i3} := K_1 \cdot K_{2и} \cdot \sigma_{и20} = 34.846 \text{ МПа}$$

Допускаемое опорное усилие от нагружения в окружном направлении, вычисляемое по формуле:

$$F_{\text{доп31}} := \frac{0.9 \cdot \sigma_{i3} \cdot \sqrt{D \cdot (s_1 - c)} \cdot (s_1 - c)}{K_{17} \cdot K_{16} \cdot K_{14}} = 6.262 \times 10^5 \text{ Н}$$

$$s_{\text{ef}} := (s_1 - c) \cdot \sqrt{1 + \left[\frac{s_{\text{Л}}}{(s_1 - c)} \right]^2} = 15.297 \text{ мм}$$

Эффективное осевое усилие от местных мембранных напряжений, действующих в области опоры:

$$F_{\text{в1}} := F_{11} \cdot \frac{\pi}{4} \cdot \sqrt{\frac{D}{(s_1 - c)}} \cdot K_{13} \cdot K_{15} = 1.164 \times 10^5 \text{ Н}^5$$

3.2.10 Проверка условий устойчивости

Условие устойчивости в условиях гидроиспытаниях:

$$Us1_30 := \begin{cases} \text{"Условие устойчивости выполняется"} & \text{if } \frac{F_{\text{в1}}}{F_{\text{д.р1}}} + \frac{M_{11}}{M_{\text{д1}}} + \left(\frac{Q_{1\text{p}}}{Q_{\text{д1}}} \right)^2 \leq 1 \\ \text{"Условие устойчивости выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Us1_30 = "Условие устойчивости выполняется"

Расчет №2

опору рассматривают как усиление стенки сосуда. Во всех формулах принимаем опору шириной b с углом охвата δ_1 :

$$\delta_1 := 2.1 \text{ радиан}$$

Параметр, определяемый расстоянием до днища:

$$\chi_{\text{мм}} := 2.83 \cdot \frac{a}{D} \cdot \sqrt{\frac{(s_1 - c)}{D}} = 0.158$$

Параметр, определяемый шириной пояса опоры, вычисляют по формуле:

$$\beta_{1.} := 0.91 \cdot \frac{b}{\sqrt{D \cdot (s_1 - c)}} = 1.439$$

Общее меридиональное мембранное напряжение изгиба:

$$\sigma_{\text{mx}} := \frac{4 \cdot M_{11}}{\pi \cdot D^2 \cdot (s_1 - c)} = 1.079 \times 10^{-3} \text{ МПа}$$

Коэффициент, учитывающий влияние угла охвата опоры:

$$K_{13.} := \frac{1}{\sin(0.5 \cdot \delta_1)} \cdot \max\left(1.7 - \frac{2.1 \cdot \delta_1}{\pi}, 0\right) = 0.342$$

Коэффициент, учитывающий влияние расстояния до днища:

$$K_{15.} := \min\left(1, \frac{0.8 \cdot \sqrt{\gamma} + 6 \cdot \gamma}{\delta_1}\right) = 0.604$$

Коэффициент, учитывающий влияние угла охвата опоры:

$$K_{12.} := \frac{1.15 - 0.1432 \cdot \sin(\delta_1)}{\sin(0.5 \cdot \delta_1)} = 1.183$$

Коэффициент, учитывающий влияние ширины пояса опоры:

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

Коэффициент ν_1 для определения коэффициента K_1 :

$$\nu_{1.} := \frac{-0.23 \cdot K_{13} \cdot K_{15}}{K_{12} \cdot K_{10}} = -0.161$$

Коэффициент K_2

В условиях испытаний:

$$K_{2.} := 1.05$$

$$\nu_{21.} := -\sigma_{\text{mx}} \cdot \frac{1}{K_{2\text{и}} \cdot \sigma_{\text{и}20}} = -3.763 \times 10^{-6}$$

$$\nu_{22} := \frac{1}{K_{2И} \cdot \sigma_{И20}} \left[\frac{D \cdot P_{И}}{4 \cdot (s_1 - c)} - \sigma_{\text{мх}} \right] = 0.466$$

Общее мембранное напряжение в эллиптическом днище:

$$\sigma_{\text{м}} := \frac{D \cdot P_{И}}{4 \cdot (s_1 - c)} = 133.461 \text{ МПа}$$

$$\nu_2 := \frac{\sigma_{\text{м}}}{K_{2И} \cdot \sigma_{И20} \cdot \phi} = 0.466$$

При $\nu_2 < 0$ принимают $\nu_2 = |\nu_2|$, а знак ν_1 меняют на обратный:

$$K_1 := \frac{1 - \nu_2}{\left(\frac{1}{3} + \nu_2 \cdot \nu_1 \right) + \sqrt{\left(\frac{1}{3} + \nu_2 \cdot \nu_1 \right)^2 + (1 - \nu_2^2) \cdot \nu_1^2}} = 0.994$$

При $\nu_{21} < 0$ принимают $\nu_{21} = |\nu_{21}|$, а знак ν_1 меняют на обратный:

$$\nu_{11} := |\nu_1| = 0.161 \quad \nu_{21} = 3.763 \times 10^{-6}$$

$$K_{\nu 11} := \frac{1 - \nu_{21}}{\left(\frac{1}{3} + \nu_{21} \cdot \nu_1 \right) + \sqrt{\left(\frac{1}{3} + \nu_{21} \cdot \nu_1 \right)^2 + (1 - \nu_{21}^2) \cdot \nu_1^2}} = 1.444$$

$$K_{\nu 21} := \frac{1 - \nu_{22}}{\left(\frac{1}{3} + \nu_{22} \cdot \nu_1 \right) + \sqrt{\left(\frac{1}{3} + \nu_{22} \cdot \nu_1 \right)^2 + (1 - \nu_{22}^2) \cdot \nu_1^2}} = 0.639$$

$$K_1 := \min(K_{\nu 21}, K_{\nu 11}) = 0.639$$

Предельное напряжение изгиба:

$$\sigma_{i2} := K_1 \cdot K_{2И} \cdot \sigma_{И20} = 183.176 \text{ МПа}$$

Допускаемое опорное усилие от нагружения в меридиональном направлении:

$$F_{\text{доп}22} := \frac{0.7 \cdot \sigma_{i2} \cdot \sqrt{D \cdot (s_1 - c) \cdot (s_1 - c)}}{K_{10} \cdot K_{12}} = 3.185 \times 10^5 \text{ Н}$$

Коэффициент, учитывающий влияние угла охвата опоры:

$$K_{14} := \frac{1.45 - 0.43 \cdot \delta_1}{\sin(0.5 \cdot \delta_1)} = 0.631$$

Коэффициент, учитывающий влияние расстояния до днища:

$$K_{16} := 1 - \frac{0.65}{1 + (6 \cdot \gamma)^2} \cdot \sqrt{\frac{\pi}{3 \cdot \delta_1}} = 0.759$$

Коэффициент, учитывающий влияние ширины пояса опоры:

$$K_{17} := \frac{1}{1 + 0.6 \cdot \delta_1 \cdot \frac{b}{D} \cdot \sqrt[3]{\frac{D}{(s_1 - c)}}} = 0.539$$

Коэффициент, учитывающий влияние ширины пояса опоры:

$$K_{11} := \frac{1 - e^{-\beta_1} \cdot \cos(\beta_1)}{\beta_1} = 0.695$$

Коэффициент v_1 для определения коэффициента K_1 :

$$v_{11} := \frac{-0.53 \cdot K_{11}}{K_{14} \cdot K_{16} \cdot K_{17} \cdot \sin(0.5 \cdot \delta_1)} = -1.646$$

$$v_{21} := 0$$

$$v_{22} := \frac{D \cdot P_{II}}{2 \cdot (s_1 - c)} \cdot \frac{1}{(K_{2II} \cdot \sigma_{II20})} = 0.931$$

$$K_{v21} := \frac{1 - v_{22}}{\left(\frac{1}{3} + v_{22} \cdot v_1\right) + \sqrt{\left(\frac{1}{3} + v_{22} \cdot v_1\right)^2 + (1 - v_{22}^2) \cdot v_1^2}} = 0.191$$

$$K_{v11} := \frac{1 - v_{21}}{\left(\frac{1}{3} + v_{21} \cdot v_1\right) + \sqrt{\left(\frac{1}{3} + v_{21} \cdot v_1\right)^2 + (1 - v_{21}^2) \cdot v_1^2}} = 0.296$$

$$K_1 := \min(K_{v21}, K_{v11}) = 0.191$$

Предельное напряжение изгиба:

$$\sigma_{i3} := K_1 \cdot K_{2и} \cdot \sigma_{и20} = 54.788 \text{ МПа}$$

Допускаемое опорное усилие от нагружения в окружном направлении, вычисляемое по формуле:

$$F_{доп32} := \frac{0.9 \cdot \sigma_{i3} \cdot \sqrt{D \cdot (s_1 - c)} \cdot (s_1 - c)}{K_{17} \cdot K_{16} \cdot K_{14}} = 5.44 \times 10^5 \text{ Н}$$

$$F_{доп} := \min(F_{доп21}, F_{доп31}, F_{доп22}, F_{доп32}) = 3.185 \times 10^5 \text{ Н}$$

Условие прочности:

$$Us1_31 := \begin{cases} \text{"Условия прочности выполняются"} & \text{if } F_{11} \leq F_{доп} \\ \text{"Условия прочности не выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Us1_31 = "Условия прочности выполняются"

Эффективное осевое усилие от местных мембранных напряжений, действующих в области опоры:

$$F_{в2} := F_{11} \cdot \frac{\pi}{4} \cdot \sqrt{\frac{D}{(s_1 - c)}} \cdot K_{13} \cdot K_{15} = 6.287 \times 10^5 \text{ Н}$$

Проверка условий устойчивости

Условие устойчивости в условиях гидроиспытаний:

$$Us1_32 := \begin{cases} \text{"Условие устойчивости выполняется"} & \text{if } \frac{F_{в2}}{F_{д.р1}} + \frac{M_{11}}{M_{д1}} + \left(\frac{Q_{1р}}{Q_{д1}} \right)^2 \leq 1 \\ \text{"Условие устойчивости не выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Us1_32 = "Условие устойчивости выполняется"

3.3 Разделитель метанольной воды и углеводородного сырья Е-31/2

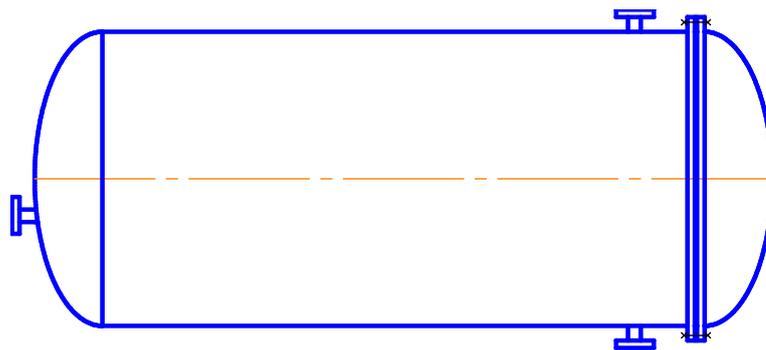


Рисунок 3.26 - расчетная схема разделитель

Исходные данные

Объем емкости: $V=13\text{м}^3$

Диаметр аппарата: $D=1600\text{мм}$

Длина цилиндрической обечайки: $l=5600\text{мм}$

Высота не отбортованной крышки: согласно [2, стр. 440]

$h_{\text{в}} = 400 \text{ мм}$

Высота отбортовки крышки:

$h = 80 \text{ мм}$

Высота отбортованного днища:

$h_{\text{э}} := h_{\text{в}} + h = 480 \text{ мм}$

Максимальная рабочая температуры среды:

$t_{\text{р}} := 36^{\circ}\text{C}$

Рабочее давление:

$P_{\text{р}} := 2.5 \text{ МПа}$

Материал аппарата:

Марка: 09Г2С

Классификация: Сталь конструкционная низколегированная для сварных конструкций

Применение: Различные детали и элементы сварных металлоконструкций, работающих при температуре от -70 до $+425^{\circ}\text{C}$ под давлением.

Широкое применения стали 09Г2С, сталь конструкционная низколегированная для сварных конструкций обусловлено особенностями стали 09Г2С, по своим свойствам эта сталь относится к морозостойким сталям, выдерживающим очень низкие эксплуатационные температуры.

Коэффициент прочности сварных швов: стыковых, выполненных автоматической или полуавтоматической сваркой с одной стороны, с флюсовой или керамической подкладкой, при контроле 100 % длины шва. [3]

$$\varphi = 1$$

Прибавки к расчетным толщинам конструктивных элементов:

Прибавку к расчетным толщинам находим согласно [3, стр. 9]

Скорость коррозии материала аппарата:

$$П := 0.1 \text{ мм/год}$$

Срок службы аппарата:

$$\tau = 15 \text{ лет}$$

Прибавка для компенсации коррозии и эрозии:

$$c_1 := П \cdot \tau = 1.5 \text{ мм}$$

Прибавка для компенсации минусового допуска:

$$c_2 := 0.8 \text{ мм}$$

Технологическая прибавка:

$$c_3 := 0 \text{ мм}$$

Прибавки к расчетным толщинам конструктивных элементов:

$$c := c_1 + c_2 + c_3 = 2.3 \text{ мм}$$

Допускаемое напряжение материала кожуха 09Г2С при температуре 20°C (температура гидроиспытаний): [3, стр.15]

$$\sigma_{\text{тек}20} := 300 \text{ МПа}$$

коэффициент запаса по пределу текучести для условий испытаний:

$$n_t := 1.1$$

Поправочный коэффициент η :

$$\eta = 1$$

Допускаемое напряжение для условий испытаний:

$$\sigma_{и20} := \text{ceil} \left(\eta \cdot \frac{\sigma_{\text{тек}20}}{n_t} \right) = 273 \text{ МПа}$$

Допускаемое напряжение материала 09Г2С при рабочей температуре кожуха $t_p=36$ °C: [3, стр. 10]

$$\sigma_{Д} := \text{Floor} \left[\text{interp} \left[\left(\begin{array}{c} 20 \\ 100 \end{array} \right), \left(\begin{array}{c} 196 \\ 177 \end{array} \right), t_p \right], 0.5 \right] = 192 \text{ МПа}$$

3.3.1 Расчет давлений

Определить гидростатическое давление в аппарате:

Плотность воды при гидроиспытаниях (температура 20°C): [1, стр. 548]

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

Высоту гидростатического столба в аппарате принимаем равной диаметру аппарата:

$$H_{\text{гид}} := 1.6 \text{ м}$$

Давление гидростатического столба при гидроиспытаниях: [1, стр. 13]

$$P_{\text{гид}} := \frac{9.8 \cdot H_{\text{гид}} \cdot \rho_{\text{вод}}}{10^6} = 0.016 \text{ МПа}$$

Давление в трубном пространстве:

Расчетное давление в трубном пространстве в рабочих условиях: [9]

$$P_p := (P_p + P_{\text{гид}}) = 2.516 \text{ МПа}$$

Давление при гидроиспытаниях:

$$P_{и} := 1.25 \cdot P_p \cdot \frac{\sigma_{и20}}{\sigma_{Д}} = 4.471 \text{ МПа}$$

Условное давление:

$$P_{\text{усл}} := P_p \cdot \frac{\sigma_{\text{и20}}}{\sigma_D} = 3.577 \text{ МПа}$$

3.3.2 Расчет толщины стенки цилиндрической обечайки (кожуха)

Расчет проводим [5, стр. 5]

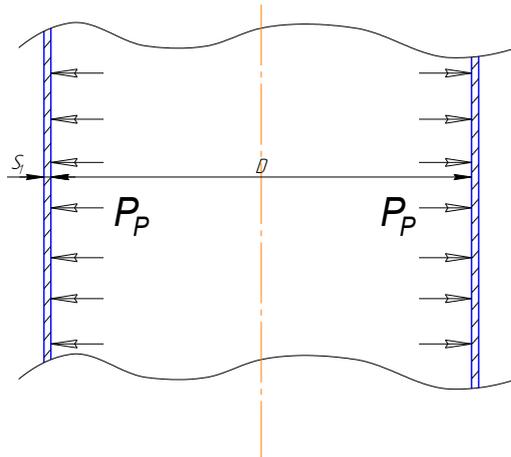


Рисунок 3.27 - Расчетная схема обечайки

Диаметр обечайки:

$$D = 1.6 \times 10^3 \text{ мм}$$

Расчетная толщина стенки цилиндрической обечайки при внутреннем избыточном давлении:

$$s_{p1} := \max \left(P_p \cdot \frac{D}{2 \cdot \phi \cdot \sigma_D - P_p}, P_{\text{и}} \cdot \frac{D}{2 \cdot \phi \cdot \sigma_{\text{и20}} - P_{\text{и}}} \right) = 13.211 \text{ мм}$$

Исполнительная толщина стеки аппарата:

$$s_{\text{и1}} := s_{p1} + c = 15.511 \text{ мм}$$

Принимаем толщину для корпуса аппарата:

$$s_1 := 20 \text{ мм}$$

Проверка условий применимости формул без моментной теории:

$$Us1_1 := \begin{cases} \text{"Формулы применимы"} & \text{if } \frac{s_1 - c}{D} \leq 0.1 \\ \text{"Формул НЕ верны"} & \text{if } \frac{s_1 - c}{D} > 0.1 \end{cases} = \text{"Формулы применимы"}$$

Расчет допускаемого внутреннего избыточного давления при рабочих условиях:

$$P_{д1} := \frac{2 \cdot \sigma_{Д \cdot \phi} \cdot (s_1 - c)}{D + (s_1 - c)} = 4.202 \text{ МПа}$$

Расчет допускаемого внутреннего избыточного давления при условиях испытания:

$$P_{д2} := \frac{2 \cdot \sigma_{и20} \cdot \phi \cdot (s_1 - c)}{D + (s_1 - c)} = 5.974 \text{ МПа}$$

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

$$Us1_2 := \begin{cases} \text{"Условие выполняется"} & \text{if } P_{д1} > P_p \\ \text{"Условие прочности НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases} = \text{"Условие выполняется"}$$

$$P_{д1} = 4.202 \text{ МПа} \quad P_p = 2.516 \text{ МПа}$$

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

$$Us1_3 := \begin{cases} \text{"Условие выполняется"} & \text{if } P_{д2} > P_{и} \\ \text{"Условие прочности НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases} = \text{"Условие выполняется"}$$

$$P_{д2} = 5.974 \text{ МПа} \quad P_{и} = 4.471 \text{ МПа}$$

3.3.3 Расчет эллиптического днища

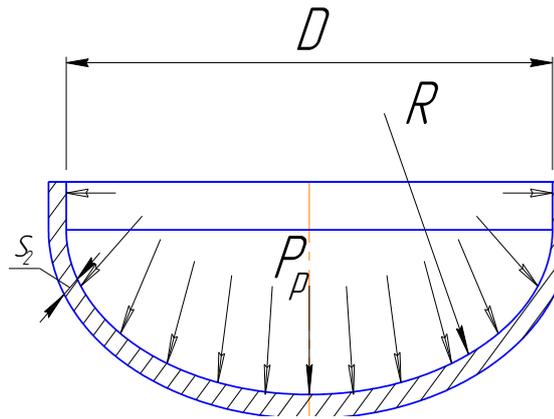


Рисунок 3.28 - Расчетная схема эллиптического стального отбортованного днища

Расчет проводим согласно [5, стр. 21]

Радиус кривизны в вершине днища равен: (для эллиптических днищ)

$$R_1 := D = 1.6 \times 10^3 \text{ мм}$$

Расчет толщины стенки крышки под действием внутреннего давления:

$$s_{p2} := \max \left(P_p \cdot \frac{R_1}{2 \cdot \phi \cdot \sigma_D - 0.5 \cdot P_p}, P_{и} \cdot \frac{R_1}{2 \cdot \phi \cdot \sigma_{и20} - 0.5 \cdot P_{и}} \right) = 13.156 \text{ мм}$$

Исполнительная толщина стеки днища:

$$s_{и2} := s_{p2} + c = 15.456 \text{ мм}$$

Принимаем толщину днища:

$$s_2 := 20 \text{ мм}$$

Проверка условий применимости расчетных формул без моментной теории для эллиптических днищ (крышек): [5, стр. 21]

$$Us1_4 := \begin{cases} \text{"формулы применяются"} & \text{if } 0.002 \leq \frac{s_2 - c}{D} \leq 0.1 \\ \text{"Условия НЕ выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases} = \text{"формулы применяются"}$$

$$Us1_5 := \begin{cases} \text{"формулы применяются"} & \text{if } 0.2 \leq \frac{h_B}{D} \leq 0.5 \\ \text{"Условия НЕ выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases} = \text{"формулы применяются"}$$

Расчет допускаемого внутреннего избыточного давления при рабочих условиях:

$$P_{д3} := \frac{2 \cdot \sigma_{Д\phi} \cdot (s_2 - c)}{R_1 + (s_2 - c)} = 4.202 \text{ МПа}$$

Расчет допускаемого внутреннего избыточного давления при условиях гидроиспытаний:

$$P_{д4} := \frac{2 \cdot \sigma_{и20} \cdot \phi \cdot (s_2 - c)}{R_1 + (s_2 - c)} = 5.974 \text{ МПа}$$

Проверка условия прочности стенок, крышки от действия внутреннего давления при рабочих условиях:

$$Us1_6 := \begin{cases} \text{"Условие выполняется"} & \text{if } P_{д3} > P_p \\ \text{"Условие прочности НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases} = \text{"Условие выполняется"}$$

$$P_p = 2.516 \text{ МПа} \quad P_{д3} = 4.202 \text{ МПа}$$

Проверка условия прочности стенок, крышки от действия внутреннего давления при условиях гидроиспытаний:

$$Us1_7 := \begin{cases} \text{"Условие выполняется"} & \text{if } P_{д4} > P_{и} \\ \text{"Условие прочности НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases} = \text{"Условие выполняется"}$$

$$P_{д4} = 5.974 \text{ МПа} \quad P_{и} = 4.471 \text{ МПа}$$

Условное обозначение днища с $D = 1600$ мм, $s = 20$ мм и $h = 400$ мм из стали марки 09Г2С «Днище 1600 X 20—400— 09Г2С ГОСТ 6533-68»

3.3.4 Подбор стандартных штуцеров

Подбираем стандартные штуцера с фланцами стальными приварными встык, с уплотнительной поверхностью выступ впадина, согласно [7]

Штуцер изготовлен из материала сталь 09Г2С материал такой же, как и материал частей аппарата с которыми он соединен, для избежания увеличения скорости коррозий.

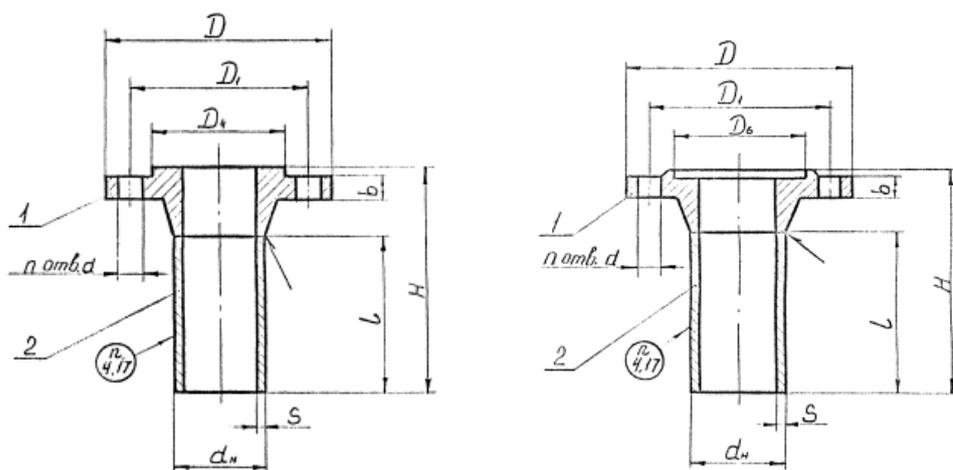


Рисунок 3.29 - штуцер с фланцами приваренными встык с уплотнительной поверхностью типа выступ впадина

Штуцер 150 - 4,0 - 2 - 2 - 180 - 09Г2С АТК 24.218.06.90

Пример условного обозначения штуцера Ду 150 мм, Ру 4,0 МПа, типа 2, исполнения 2,

l = 180 мм, фланец из стали 16ГС, патрубок из стали 09Г2С.

Штуцер 50 - 4,0 - 2 - 2 - 180 - 09Г2С АТК 24.218.06.90

Пример условного обозначения штуцера Ду 50 мм, Ру 4,0 МПа, типа 2, исполнения 2,

l = 180 мм, фланец из стали 16ГС, патрубок из стали 09Г2С.

Обозначения	Наименование	Кол.	Проход условн. Ду мм	Давление условное Ру МПа
А ₁	Ввод продукта	1	150	4,0
Б ₁	Вывод сжиж. газа	1	150	4,0
В ₁	Вывод метанол. воды	1	50	4,0
Г ₁₋₂	Для измерен. уровня	2	20	-
Д ₁	Для ППК	1	50	4,0
Е ₁₋₂	Для манометра	2	50	4,0
Ж ₁	Резервный	1	50	4,0
З ₁	Дренаж	1	50	4,0

Таблица 3.3.1 - Наименование штуцеров

D_y	D	D_1	D_4	D_6	b	d	n	d_H	S
150	300	250	203	204	27	26	8	159	6
50	160	125	67	88	17	18	8	57	4

Таблица 3.3.2 - Параметры штуцеров

3.3.5 Укрепление отверстий парубков

Расчет проводим согласно [6]:

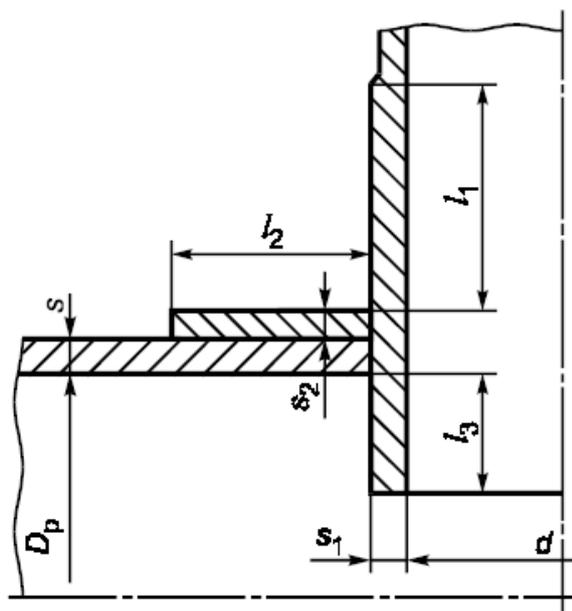


Рисунок 31 - Укрепление отверстий при наличии проходящего штуцера

Расчетный диаметр укрепляемых элементов:

для цилиндрической обечайки:

$$D_{p1} := D = 1.6 \times 10^3 \text{ мм}$$

расстояние от центра укрепляемого отверстия до оси эллиптического днища:

$$x = 300 \text{ мм}$$

для эллиптических днищ:

$$D_{p2} := \frac{D^2}{4 \cdot h_B} \cdot \sqrt{1 - 4 \cdot \frac{(D^2 - 4 \cdot h_B^2)}{D^4} \cdot x^2} = 1.513 \times 10^3 \text{ мм}$$

Диаметр отверстий штуцера ввода продукта:

$$d_1 := 150 \text{ мм}$$

Диаметр отверстия штуцера вывода сжиженного газа:

$$d_2 := 150 \text{ мм}$$

Диаметры отверстия штуцеров вывода метанольной воды, дренажа, ППК, манометра:

$$d_3 := 50 \text{ мм}$$

Расчетный диаметр отверстия для смещенного штуцера на эллиптическом днище:

Расчетный диаметр отверстия штуцера входа сырья:

$$d_{1p} := \text{ceil} \left[\frac{d_1 + 2 \cdot c}{\sqrt{1 - \left(\frac{2 \cdot x}{D_{p2}} \right)^2}} \right] = 169 \text{ мм}$$

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

Расчетные диаметры отверстия штуцеров выхода воды и нефти:

$$d_{2p} := \text{ceil}(d_2 + 2 \cdot c) = 155 \text{ мм}$$

Расчетный диаметр отверстия штуцера для выхода газа:

$$d_{3p} := \text{ceil}(d_3 + 2 \cdot c) = 55 \text{ мм}$$

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

$$d_{01} := 2 \cdot \left(\frac{s_1 - c}{s_{p1}} - 0.8 \right) \cdot \sqrt{D_{p1} \cdot (s_1 - c)} = 181.695 \text{ мм}$$

$$d_{02} := 2 \cdot \left(\frac{s_2 - c}{s_{p2}} - 0.8 \right) \cdot \sqrt{D_{p2} \cdot (s_2 - c)} = 178.513 \text{ мм}$$

Проверка необходимости проведения расчета на укрепления отверстий для штуцеров ввода исходной смеси.

$$Us1_8 := \begin{cases} \text{"Расчет укрепления отверстия штуце не требуется"} & \text{if } d_{1p} < d_{02} \\ \text{"Расчет укрепления отверстия штуцера необходим"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$Us1_8 = \text{"Расчет укрепления отверстия штуце не требуется"}$$

Проверка необходимости проведения расчета на укрепления отверстий для штуцера вывода сжиженного газа:

$$Us1_9 := \begin{cases} \text{"Расчет укрепления отверстия штуце не требуется"} & \text{if } d_{2p} < d_{01} \\ \text{"Расчет укрепления отверстия штуцера необходим"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$Us1_9 = \text{"Расчет укрепления отверстия штуце не требуется"}$$

Проверка необходимости проведения расчета на укрепления отверстий для штуцера выхода метанольной воды, ППК, жренажа, резервного штуцеров:

$$Us1_10 := \begin{cases} \text{"Расчет укрепления отверстия штуце не требуется"} & \text{if } d_{3p} < d_{01} \\ \text{"Расчет укрепления отверстия штуцера необходим"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$Us1_10 = \text{"Расчет укрепления отверстия штуце не требуется"}$$

3.3.6 Расчет веса аппарата

Ускорение свободного падения:

$$g = 9.8 \text{ м/с}^2$$

Расчет веса корпуса аппарата:

Внутренний диаметр аппарата:

$$D := 1.6 \text{ м}$$

Толщина стенки обечайки:

$$s_1 := 0.02 \text{ м}$$

Плотность материала сталь: сталь 09Г2С

$$\rho_{\text{мет}} := 7850 \text{ кг/м}^3$$

Вес кожуха обечайки аппарата:

$$G_{\text{кож}} := \pi \cdot \left[\frac{(D + 2 \cdot s_1)^2 - D^2}{4} \right] \cdot 5.6 \cdot \rho_{\text{мет}} \cdot g = 4.385 \times 10^4 \text{ Н}$$

Масса днища: согласно [2, стр. 441]

$$m_{\text{дн}} := 487 \text{ кг}$$

Внутренний объем эллиптического днища: [2, стр. 440]

$$V_{\text{д1}} := 697 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$$

Вес эллиптического днища аппарата:

$$G_{\text{д.эл}} := m_{\text{дн}} \cdot g = 4.773 \times 10^3 \text{ Н}$$

Вес пустого аппарата:

$$G_{\text{ап}} := 2G_{\text{д.эл}} + G_{\text{кож}} = 5.34 \times 10^4 \text{ Н}$$

Объем аппарата:

$$V_2 := \left(\pi \cdot \frac{D^2}{4} \cdot 5.6 + 2V_{\text{д1}} \right) = 12.653 \text{ м}^3$$

Вес жидкости в условиях испытаний:

$$G_{\text{жид1}} := V_2 \cdot \rho_{\text{вод}} \cdot g = 1.238 \times 10^5 \text{ Н}$$

Вес аппарата заполненного жидкостью при гидроиспытаниях:

$$G_{\text{ап1}} := G_{\text{ап}} + G_{\text{жид1}} = 1.772 \times 10^5 \text{ Н}$$

3.3.7 Подбор стандартных опор аппарата

Проводим по [15]

Опоры неподвижной с допускаемой нагрузкой 300 кН, с радиусом $R = 832$ мм, исполнением по материалу 3:

Опора 300-832-3 ОСТ 26-2091-93.

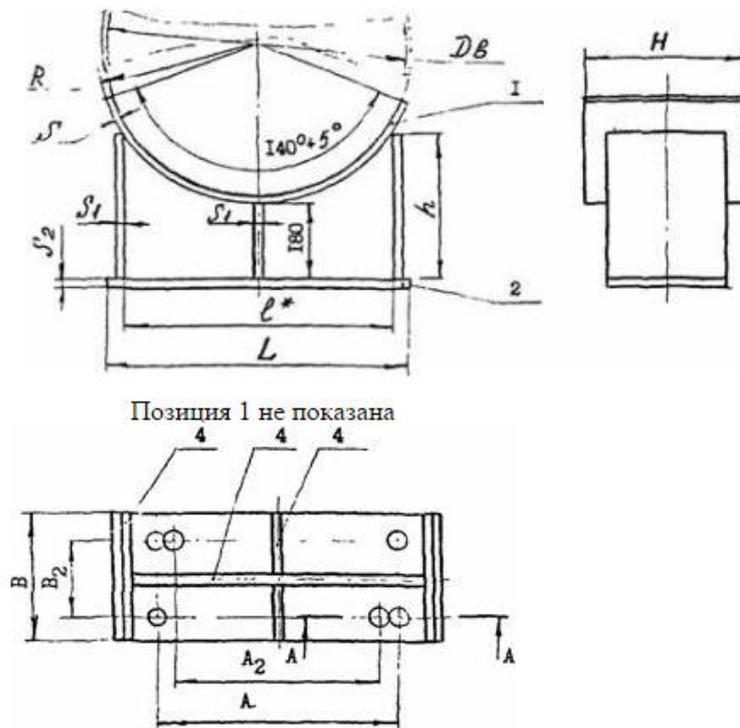


Рисунок 3.30 - Опора горизонтальная с внутренним диаметром 1600

D	G	S ₁	S ₂	R	L	L ₁	l	B	B ₁	B ₂	H	A	A ₁
мм	кН	мм	мм		мм	мм	мм	мм	мм	мм	мм	мм	м
1600	300	12	20	832	1420	1440	1365	1250	400	140	540	1100	1,26

Таблица 3.3.3 - параметры и размеры опоры

Условие правильности выбора опоры:

$$Us1_{33} := \begin{cases} \text{"Условие выполняется"} & \text{if } G_{ап1} < 300000 \\ \text{"Условие не выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases} = \text{"Условие выполняется"}$$

3.3.8 Подбор стандартного фланцевого соединения между крышкой и обечайкой

Подбираем стандартный фланец согласно [8]

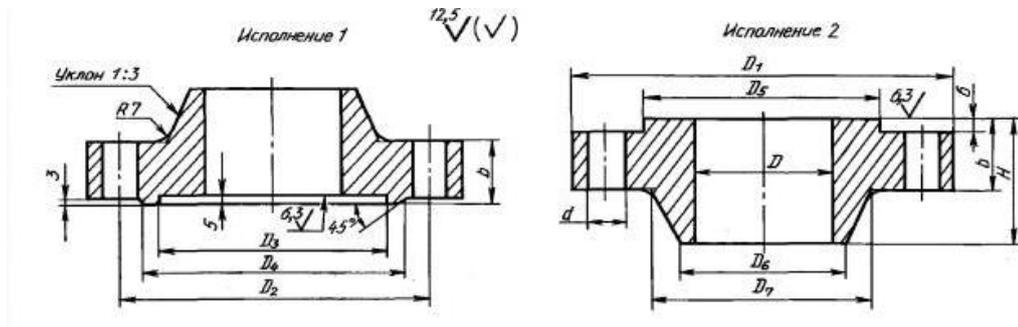


Рисунок 3.31 Фланцевое соединение с приварными в стык фланцами, тип уплотнительной поверхности выступ впадина

Тип фланца: фланцевое соединение с приварными встык фланцам.

Тип уплотнительной поверхности: выступ впадина

Материал фланца: Сталь 09Г2С

D	D ₁	D ₂	D ₃	D ₄	a	D ₅	a ₁	D ₆	D ₇	b	H	d	P _y
мм													МПа
1600	1915	1830	1708	1720	28,5	1705	25	1664	1732	125	225	46	4,0

Таблица 3.3.4 - Основные размеры фланцевого соединения

4 Монтаж оборудования

В настоящее время значительную часть работ по сборке и сварке оборудования выполнять на машиностроительных заводах. Однако еще во многих случаях приходится дополнительно изготавливать крупногабаритную аппаратуру непосредственно на монтажной площадке, что связано со значительным объемом сварочных работ. Повышение степени заводской готовности монтируемого оборудования позволяет значительно сократить сроки монтажных работ, повысить их качество и увеличить надежность оборудования при эксплуатации.

Специализированные монтажные и проектные организации, укомплектованные квалифицированными кадрами специалистов, способны оперативно и на высоком техническом уровне решать вопросы транспорта и монтажа разнообразного оборудования нефтегазоперерабатывающих заводов.

Широкое внедрение в монтажную практику полуавтоматической и автоматической сварки сталей различных марок значительно повысило качество сварных конструкций, увеличило производительность труда, снизило объем исправляемых дефектов при сварке. Внедрение современных методов контроля качества сварных соединений позволило значительно снизить объем испытаний, связанных с нарушением целостности сварного соединения, или вообще отказаться от них.

Монтаж оборудования теплообменник (Т-20).

4.1 Выбор метода монтажа

Способы проведения монтажа зависят от ряда факторов, среди которых основными являются: габариты, вес и конструктивные особенности монтируемого оборудования: площадка, на которой производится монтаж и ситуация сложившаяся в момент монтажа и после него; пространственное положение оборудования; оснащённость монтажными приспособлениями и механизмами.

Монтаж теплообменника $D=0,8$ м, $L = 7,59$ м, и массой 5,311т. устанавливаем на фундамент $n=1$ м. На первом этаже цеха, монтаж осуществляем с помощью мостового крана.

Поскольку аппарат имеет большую длину, при монтаже будет использована траверса.

Исходные данные

Вес пустого аппарата:

$$G_0 := 5.311$$

Длина аппарата:

$$L := 7.59$$

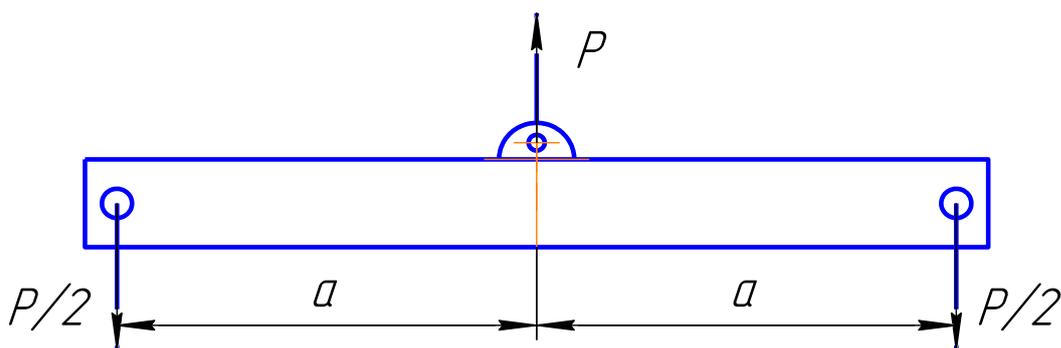


Рисунок 4.1.1 - Расчетные схемы траверсы работающей на изгиб

4.2 Расчет траверсы

Расчет проводим по [16, стр. 56]

коэффициент перегрузки:

$$k_{\Pi} := 1.1$$

коэффициент динамичности:

$$k_{\text{д}} := 1.1$$

1. Подсчитывают нагрузку (кН), действующую на траверсу:

$$P := 10 \cdot G_0 \cdot k_{\Pi} \cdot k_{\text{д}} = 64.263 \text{ кН}$$

Длина плеча траверсы:

$$a := \frac{460}{2} = 230 \text{ см}$$

2. Определяют изгибающий момент в траверсе:

$$M := \frac{P}{2} \cdot a = 7.39 \times 10^3 \text{ кН*см}$$

Расчетные сопротивления прокатной стали: $R = 210 \text{ МПа}$ [16, прил. XIII]

Коэффициент условий работы для грузозахватных приспособлений

[16, прил. XIV]: $m = 0.85$

3. Вычисляют требуемый момент сопротивления поперечного сечения траверсы (см³):

$$W_{\text{тр}} := \frac{M}{(m \cdot 0.1 \cdot R)} = 414.02 \text{ см}^3$$

4. Выбираем балку траверсы, состоящую из двутавра

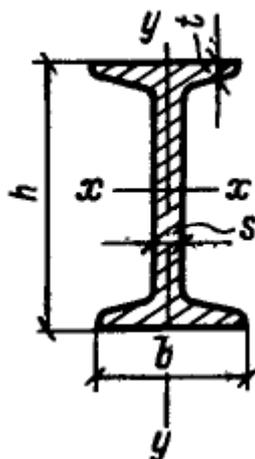


Рисунок 4.1.2 - Балка двутавровая

5. По таблице ГОСТа [16, прил. II, стр. 285] подбираем балку двутавровую № 30 с моментом сопротивления:

$$W_{\text{д}} := 472 \text{ см}^3$$

$$Us1_1 := \begin{cases} \text{"балка подобрана верно"} & \text{if } W_{\text{д}} \geq W_{\text{тр}} \\ \text{"следует выбрать блку большего сечения"} & \text{otherwise} \end{cases} = \text{"балка подобрана верно"}$$

$$W_{\text{д}} = 472 \text{ см}^3$$

$$W_{\text{тр}} = 414.02 \text{ см}^3$$

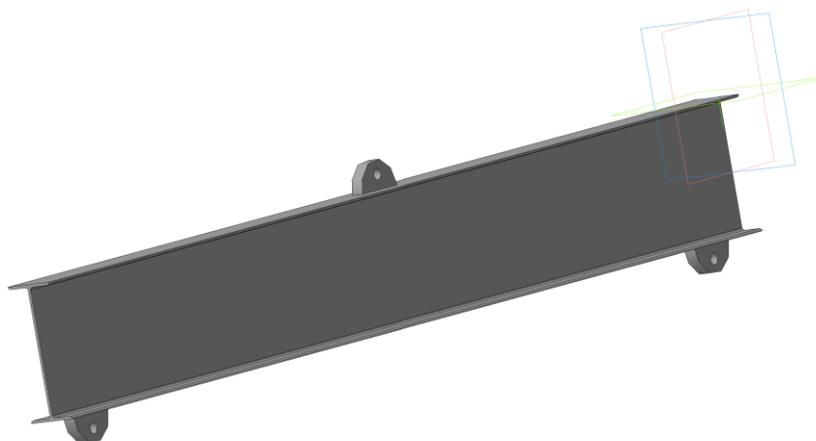


Рисунок 4.1.3 - Траверса изготовленная из двутавра

Расчет и подбор полиспастов

Расчет проводим [16, стр. 70]

Масса одного метра траверсы:

$$g_T := 0.0365 \text{ т}$$

[16, стр. 286, прил. II]

Длиной траверсы, задаемся конструктивно:

$$l := 4.6 \text{ м}$$

Масса аппарата:

$$G_T := 1 \cdot g_T = 0.168 \text{ т}$$

4.3 Расчет полиспаста

1. Определяется усилие R_{Π} (кН), действующее на подвижный блок:

$$R_{\Pi} = G_0 \cdot 10 + G_T \cdot 10 = 54.789 \text{ кН}$$

полиспаста при подъеме груза.

Усилие $R_{\text{н}}$, действующее на неподвижный блок полиспаста:

При грузоподъемности полиспаста от 50 до 200 т коэффициент равен 1,1:

$$R_{\text{н}} = 1.1 \cdot R_{\Pi} = 60.268 \text{ кН}$$

2. Исходя из усилий R_{Π} и $R_{\text{н}}$, подбирают неподвижный и подвижный блоки, определяя по [16, прил. I] их грузоподъемность, количество и диаметр роликов, массу и длину полиспаста в стянутом виде.

Выбираем 2 блока БМ-63 со следующими характеристиками:

Грузоподъемность 63 т, количество роликов 1,

Диаметр роликов:

$$d_p := 0.63 \text{ м}$$

масса блока 405 кг, диаметр каната:

$$d := 0.0435 \text{ м}$$

[16, стр. 296, прил. VI]

Таким образом, в полиспасте, состоящим из двух блоков, общее количество роликов:

$$m_{\Pi} := 1 \cdot 2 = 2 \text{ роликов}$$

Масса двух блоков:

$$G_{\zeta} := 405 \cdot 2 = 810 \text{ кг}$$

Коэффициент полезного действия полиспаста, учитывающий потери на трение роликов на осях и сопротивление от жесткости каната при огибании им роликов (тип подшипника, качения) $\eta = 0.94$

3. Находят усилие S_{Π} (кН) в сбегающей ветви полиспаста:

$$S_{\Pi} := \frac{P_{\Pi}}{\eta \cdot m_{\Pi}} = 29.143 \text{ кН}$$

При грузоподъемности от 5 до 50 т: [16, стр. 307, прил. XI]

$$k_3 := 5$$

4.4 Расчет строп

1. Определяют разрывное усилие R_k (кН) в сбегающей ветви полиспаста:

$$R_k = S_{\Pi} \cdot k_3 = 145.715 \text{ кН}$$

Подбираем канат типа ЛК-РО конструкции 6х36 (1+7+7/7+14)+1 о.с.

(ГОСТ 7668-80): [16, стр. 297, VII таблица]

временное сопротивление разрыву, 1764 МПа

разрывное усилие, 150 кН

диаметр каната, 16,5 мм

масса 1000 м каната:

$$g_k = 1045 \text{ кг}$$

2. Подсчитываем длину каната для оснастки полиспаста, задаваясь

длиной сбегающей ветви $l_1 = 60$ м и считая длину полиспаста в растянутом виде равной высоте подъема аппарата $h = 5$ м:

запас длины каната: $l_2 = 10$ м

Подсчитываем длину каната для оснастки полиспаста:

$$L := m_{\Pi} \cdot (h + 3.14 \cdot d_p) + l_1 + l_2 = 83.956 \text{ м}$$

3. Находим суммарную массу полиспаста:

$$G_{\Pi} := \frac{G_0 + \frac{L \cdot g_k}{1000}}{1000} = 0.898 \text{ т}$$

4. Определяем усилие на канат, закрепляющий неподвижный блок полиспаста:

$$P_0 := 10 \cdot G_0 + 10 \cdot G_{\Pi} + S_{\Pi} = 91.23 \text{ кН}$$

5. Приняв канат для крепления верхнего блока полиспаста из 6 ветвей, и определив коэффициент запаса прочности $k_z=6$ как для стропа закрепкой крюками или серьгами, подсчитываем разрывное усилие в каждой ветви крепящего каната:

$$R_{\text{кн}} := \frac{P_0 \cdot k_z}{6} = 91.23 \text{ кН}$$

6. По таблице ГОСТа (прил. IV) подбираем канат типа ЛК-РО конструкции 6×36 (1+7+7/7+14)+1 о.с. (ГОСТ 7668–80), закрепляющий верхний неподвижный блок полиспаста, с характеристиками:

временное сопротивление разрыву, МПа 1666;

разрывное усилие, кН 96.3;

диаметр каната, мм 13.5;

масса 1000 м каната, кг 697.

4.5 Подбор крана

1. По усилию S_{Π} в сбегавшей ветви полиспаста по [16, прил. VII] подбираем электролебедку типа Л-3-50 с тяговым усилием 30 кН и канатоемкостью 260 м.

Тяговое усилие 30000 Н

Канатоемкость 260 м

Диаметр каната, мм 18

Скорость навивки каната, м\мин 11,4

Мощность электродвигателя, кВт 16

Масса с канатом, т 1,4

Грузоподъемность, т	32.5
Пролет моста, м	10.5....34.5
Скорость подъема главных механизмов	12
Мощность электродвигателя механизма, кВт	37
Масса крана, т	25.6.....59

Таблица 4.1.1- Кран мостовой: технические характеристики

5 Автоматический контроль и управление технологическим процессом

5.1 Автоматизация производства

Технологические процессы химических производств - сложные инженерные системы, требующие постоянного контроля и регулирования параметров.

В цехе подготовки сырья и отгрузки продуктов пиролиза углеводородов нефти производства мономеров установлена автоматизированная система контроля и управления (АСКУ). АСКУ предназначена для оперативного измерения, контроля, управления и автоматического регулирования параметров технологического процесса цеха ПСОППУН.

Функции, выполняемые системой управления:

- измерение технологических параметров;
- контроль отклонений технологических параметров от нор технологического режима;
- контроль состояния оборудования;
- ручное дистанционное управление электроприводным оборудованием;
- автоматическое регулирование технологических параметров;

- автоматические блокировки;
- программно-логическое управление оборудованием;
- визуальная, регистрация и архивирование параметров;
- самодиагностика технических средств верхнего уровня АСКУ.

АСКУ является двухуровневой системой.

Нижний уровень АСКУ (датчики, первичные преобразователи и исполнительные механизмы) - отечественного производства.

Верхний уровень АСКУ выполнен на базе контроллера и двух пультовых станций одна на базе персонального компьютера, вторая на щите ЦПУ. Контроллеры выполняют все основные функции измерения, контроля, регулирования и защиты.

5.2 Описание схемы автоматизации

Хранение СПБТ осуществляется полуизотермическим способом в двенадцати шаровых резервуарах Е-1/1-4, Е-1/5-8, Е-101/1-4, вместимостью 600 м³ каждый. Парк хранения СПБТ состоит из трёх групп по четыре резервуара в каждой:

- Е-1/1-4 - I группа;
- Е-1/5-8 - II группа;
- Е-101/1-4 - IV группа.

Давление паров СПБТ исключает возможность образования вакуума в шаровых резервуарах при температуре не менее минус 40°С, поэтому основной задачей технологической схемы является исключение повышения давления не менее 0,9 МПа (9,0 кгс/см²) в жаркое время года. Понижение давления осуществляется за счет откачки паровой фазы из резервуаров компрессорами К-4/1-4 с последующей конденсацией в теплообменнике Т-20/2, дросселирующей и возвращением в резервуары хранения. Паровая фаза из шаровых резервуаров Е-1/1-4, Е-1/5-8, Е-101/1-4 по трубопроводам 220 б/2 поступает во всасывающий трубопровод компрессоров К-4/1-4. Компримированные пары по трубопроводам 220 б/3, 220 б/9 подаются в

межтрубное пространство теплообменника Т-20/2, где конденсируются и охлаждаются оборотной водой. При этом, задвижки HSA-1099, П4 должны быть закрыты. Сконденсированная СПБТ дросселируется, проходя через клапан поз. PIC-T20/2, и по трубопроводам 220 а/4, 220 а/1 возвращается в резервуары хранения. На резервуарах Е-1/1-4, Е-1/5-8, Е-101/1-4 установлены приборы:

- измерения и контроля уровня, поз. LIRSA-E1/1-4, LIR-1-1-4, LA-E1/1-4, LIRSA-E1/5-8, LIA-E1/5-8-1, LIR1-5-8, LIRSA-E101/1-4, LIR-101-1-4, LA-E101/1-4;

- измерения и контроля давления, поз. PRA-E1/1-4, PIA-E1/1-4, PIR1-1-1-4, PI2-1-1-4, PRA-E1/5-8-1, PIA-E1/5-8-2, PIR1-1-5-8, PI2-1-5-8, PRA-E101/1-4, PIA-E101/1-4, PIR1-101-1-4, PI2-101-1-4;

- измерения и контроля температуры, поз. TIR1-1-1-4, TIR2-1-1-4, TIR1-1-5-8, TIR2-1-5-8, TIR1-101-1-4, TIR2-101-1-4.

Предупредительная сигнализация верхнего - более 70 % (7,70 м), поз. LA-E1/1-4, LIRSA-E1/5-8, LA-E101/1 и нижнего - менее 15 % (1,65 м), поз. LIRSA-E1/5-8 уровней и предаварийная сигнализация предельного верхнего - более 74 % (8,14 м), поз. LIRSA-E1/1-4, LIA-E1/5-8-1, LIRSA-E101/1-4, и предельного нижнего - менее 10 % (1,1 м), поз. LIRSA-E1/1-4, LIRSA-E101/1-4 уровней осуществляется от двух независимых датчиков с отдельными точками отбора параметров.

Предусмотрена предупредительная сигнализация минимального - менее 0,05 МПа (0,5 кгс/см²), поз. PRA-E1/1-4, PIA-E1/1-4, PRA-E1/5-8-1, PIA-E1/5-8-2, PRA-E101/1-4, PIA-E101/1-4 и максимального - более 0,9 МПа (9,0 кгс/см²), поз. PRA-E1/1-4, PRA-E1/5-8-1, PRA-E101/1-4 давлений и предаварийная сигнализация максимального - более 1,1 МПа (11,0 кгс/см²), поз. PIA-E1/1-4, PIA-E1/5-8-2, PIA-E101/1-4 давлений.

Предусмотрены блокировки на закрытие отсечных клапанов при достижении следующих параметров:

- уровень в шаровых резервуарах E-1/1-4, E-101/1-4 - менее 10% (1,10 м),
поз. LIRSA-E1/1-4, поз. LIRSA-E101/1-4: закрытие отсечного клапана
поз. HSA-E1/1-4-4, HSA-E101/1-4-4;

- уровень в шаровых резервуарах E-1/1-4, E-101/1-4 - более 74% (8,14 м),
поз. LIRSA-E1/1-4, LIRSA-E101/1-4: закрытие отсечного клапана поз.
HSA-E1/1-4-3, HSA-E101/1-4-3.

Каждый резервуар оборудован тремя предохранительными клапанами типа СППК для защиты от разрушения давлением: один клапан - контрольный (величина установочного давления равна 1,1 МПа (11 кгс/см²), два клапана - рабочие (величина установочного давления равна 1,1 МПа (11 кгс/см²)).

В днище шаровых резервуаров установлены незамерзающие клапаны типа КНД для дренажа остатков жидкой фазы во всасывающий трубопровод насосов Н-61/1,2; Н-68/1-3 при полном опорожнении сосуда. На трубопроводах 220 а/1, подающих сжиженную СПБТ в шаровые резервуары, перед каждым резервуаром установлены обратные клапаны. Коренные задвижки у резервуаров выполнены с электроприводом. Управление коренными электрозадвижками предусмотрено от кнопок по месту и дистанционно с ЦПУ с сигнализацией о конечном положении штока «открыто-закрыто». Подключение и отключение групп резервуаров осуществляется ручной запорной арматурой, установленной вне обвалования.

Схема коммуникаций парка хранения СПБТ обеспечивает возможность перекачки продукта насосами Н-68/1-3 или Н-61/1,2 из резервуаров одной группы в резервуары другой группы, а также из резервуара в резервуар внутри группы.

5.3 Технологический контроль

Технологический контроль с описанием средств контроля представлен в таблице 5.1.1

Таблица 5.1.1-Технологический контроль

Контролируемый параметр, позиция прибора	Нормы и технические показатели	Требуемая точность измерения параметров	Средства контроля
TR-E31/1 Температура метанольной воды	(0-36) °С	±6 °С	Тип: ТСМ 50М. НСХ 50М Класс допуска В Диапазон измерений (-50-50) °С Тип: БИ-001. Класс точности 0,5 Тип: РМТ 69. Класс точности 0,5
PR-E31/1 Давление паров метанольной воды	(0,5-1,5) МПа [(5-15) кгс/см ²] 1,5 МПа (15 кгс/см ²)	±1,7 кгс/см ²	Тип: ЕJA530А. Класс точности 0,5 Диапазон измерений (0-4) МПа Тип: VJA1. Класс точности 0,5 Входной сигнал (4-20) мА Выходной сигнал (4-20) мА Тип: РМТ 69. Класс точности 0,5
PR-E31/2-1 Давление СПБТ	(1,4-2,5) МПа [(14-25) кгс/см ²]	±1,8 кгс/см ²	Тип: ЕJA530А. Класс точности 0,5 Диапазон измерений (0-4) МПа Тип: VJA1. Класс точности 0,5 Входной сигнал (4-20) мА Выходной сигнал (4-20) мА Тип: РМТ 69. Класс точности 0,5
PR-E31/2-2 Давление СПБТ	(1,4-2,5) МПа [(14-25) кгс/см ²]	±1,8 кгс/см ²	Тип: ЕJA530А. Класс точности 0,5 Диапазон измерений (0-4) МПа Тип: VJA1. Класс точности 0,5 Входной сигнал (4-20) мА Выходной сигнал (4-20) мА Тип: РМТ 69. Класс точности 0,5

LIRSA-E31/1 Уровень метанольной воды	(0-80) % 80 %		Тип: Optiflex 1300С. Класс точности 0,5 Диапазон измерений (0-2200) мм Тип: VJA1. Класс точности 0,5 Входной сигнал (4-20) мА Выходной сигнал (4-20) мА Тип: РМТ 69. Класс точности 0,5
LIA-E31/1-1 Уровень метанольной воды	74 %		Тип: EJA110А. Класс точности 0,5 Диапазон измерений (0-2200) кгс/м ² Тип: VJA1. Класс точности 0,5 Входной сигнал (4-20) мА Выходной сигнал (4-20) мА Тип: ИРТ 5321. Класс точности 0,5 Шкала (0-100) %
LIRCA-E31/2 Уровень метанольной воды	(5-20) %		Тип: Optiflex 1300С. Класс точности 0,5 Диапазон измерений (0-2330) мм Тип: VJA1. Класс точности 0,5 Входной сигнал (4-20) мА Выходной сигнал (4-20) мА Тип: РМТ 69. Класс точности 0,5
QA-7/31 Концентрация паров СУГ и метанола	20% НКПР		Тип: СТМ-10. Предел допускаемой основной погрешности срабатывания ± 5 % НКПР Диапазон измерений (0-50) % НКПР Тип: ПВСС-4221 Тип: БАЗИС-3
QA-7/28 Концентрация паров пропилена	20 % НКПР		Тип: СТМ-10. Предел допускаемой основной погрешности срабатывания ± 5 % НКПР Диапазон измерений (5-50) % НКПР Тип: БАЗИС-3 Тип: УАС-24М Тип: ВЗГ-В4А-200М Тип: ПВСС-412

6 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

ВВЕДЕНИЕ

В данной дипломной работе производился расчет теплообменного аппарата. На производстве ООО "Томскнефтехим" цех подготовки сырья и отгрузки продуктов пиролиза углеводородов нефти. Рассматриваем рабочее место машиниста компрессорных установок.

Установка предназначена:

- для слива из железнодорожных вагонов-цистерн СПБТ
- хранения СПБТ
- выдачи потребителям по трубопроводам СПБТ

Давление паров СПБТ исключает возможность образования вакуума в шаровых резервуарах при температуре не менее минус 40°C, поэтому основной задачей расчет основного аппарата является исключение повышения давления не менее 0,9 МПа (9,0 кгс/см²) в жаркое время года. Понижение давления осуществляется за счет откачки паровой фазы из шаровых резервуаров компрессорами с последующей конденсацией в теплообменнике, дросселицией и возвращением в резервуары хранения. Паровая фаза из шаровых резервуаров по трубопроводам поступает во всасывающий трубопровод компрессоров. Компримированные пары по трубопроводам подаются в межтрубное пространство теплообменника, где конденсируются и охлаждаются оборотной водой. Сконденсированная СПБТ дросселируется, проходя через клапан, и по трубопроводам возвращается в резервуары хранения.

6.1 Производственная безопасность

Таблица 6.1.1 - Опасные и вредные факторы при выполнении работ по оценке технического состояния по хранению (СПБТ) отделения по ГОСТ 12.0.003-74

Таблица 6.1.1 - Основные элементы производственного процесса, формирующие опасные и вредные факторы

Наименование видов работ и параметров производственного процесса	Факторы (ГОСТ 12.0.003-74)		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	
1.Контроль за технологическим процессом.	1.Наличие шума в рабочих помещениях. 2.Недостаточное освещение рабочей зоны.	1.Поражение электрическим током. 2.Опасность взрыва и пожара.	1) СанПиН 2.2.4.548–96. 2) СанПиН 2.2.4.1191-03. (99)
2.Обход технологической площадки.	1.Недостаточное освещение рабочей зоны. 2.Понижение или повышение температуры воздуха рабочей зоны при работе на установке. 3.Повышенная загазованность воздуха рабочей зоны при разгерметизации аппаратов.	1.Опасность взрыва и пожара.	1) Р 2.2.2006-05 (104) 2) СанПиН 2.1.6.1032-01 (101) 3) (ГОСТ) 12.1.005 - 88

6.1.1 Описание вредных веществ, источники возникновения, воздействие на человека и предлагаемые средства защиты

1) Недостаточная освещенность рабочей зоны

Источники возникновения: недостаточная освещенность искусственного света в ночное время.

Воздействие на организм: плохое освещение в ночное время приводит к утомляемости глаз и всего организма, ухудшает или приводит к потере ориентации.[4,8,11,15]

Средства защиты: В связи с тем, что условия деятельности аппаратчиков связана с явным преобладанием зрительной информации, до 90%, особенно важным становится вопрос производственного освещения. Поэтому в производственных помещениях используется искусственное освещение. Согласно действующим санитарным нормам и правилам СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03[15], для искусственного освещения регламентирована наименьшая допустимая освещенность рабочих мест, а для естественного и совмещенного - коэффициент естественной освещенности (КЕО).

Рекомендуемое значение яркости в поле зрения оператора должно лежать в пределах 2,5%.[8]

Расчет электрического освещения выполняют при проектировании осветительных установок для определения общей установленной мощности и мощности каждой лампы или числа светильников.

Определяем отношение расстояния между светильниками L и высота их подвеса h_c . В зависимости от типа светильников отношение L/h_c при расположении светильников прямоугольником может быть равным 1,4-2,0.

При $h_c=0,3$ м; $L=0,6$ м.

$$\frac{L}{h_c} = \frac{0.6}{0.3} = 0.2$$

Высота светильников над рабочей поверхностью:

$$H_c = h - h_c - h_p$$

Где H - общая высота помещения;

h_c - высота подвеса светильников;

h_p - высота от пола до освещаемой поверхности.

$$H_c = 3 - 0.3 - 0.8 = 1.9 \text{ м.}$$

Находим расстояние между рядами светильников:

$$L = 1.4 \cdot H_c$$

$$L = 1.4 \cdot 1.9 = 2.66$$

Определяем площадь помещения:

$$S = A \cdot B$$

$$S = 4.5 \cdot 10 = 45 \text{ м}^2$$

Коэффициент запаса, предусматривающий уменьшение световой отдачи ламп при старении и загрязнении, принимаем равным 1,5. В качестве источника света используются УСП-35 с двумя лампами ЛБ-60. В зависимости от уровня освещенности, площади помещения, и высоты подвеса принимаем удельную мощность лампы $W=20 \text{ Вт/м}^2$.

Общая установочная мощность:

$$P = S \cdot W$$

$$P = 45 \cdot 20 = 900 \text{ Вт}$$

Находим количество ламп на ЦПУ:

$$n = \frac{P}{N}$$

N – мощность одной лампы, равна 60 Вт.

$$n = \frac{900}{60} = 15 \text{ шт.}$$

Светильники устанавливаются в три ряда.

$$F_{расч} = F_{табл} + (-)10\%$$

При расчете общего равномерного освещения принимаем метод коэффициента использования.

Величина светового потока лампы определяется по формуле:

$$F = \frac{k \cdot S \cdot Z \cdot E_H}{n \cdot \eta}$$

Где E_H – нормируемая минимальная освещенность; (СНиП 23-05-95)

$$E_H = 400 \text{ лк.}$$

k – коэффициент запаса;

n – число ламп в помещении;

η – коэффициент использования;

Z – коэффициент равномерности.

Для определения значения коэффициента использования необходимо знать индекс помещения, который вычисляется по формуле:

$$i = \frac{S}{H_c \cdot (A + B)}$$

где S – площадь помещения, 45 м^2 ;

H_c – высота расположения светильника над рабочей поверхностью, $1,9 \text{ м}$;

A и B – стороны помещения, м .

$$i = \frac{45}{1,9 \cdot (4,5 + 10)} = 1,6$$

Коэффициент использования $q=45$ ($g_{\text{потолка}}=70$ и $g_{\text{стен}}=50$), коэффициент равномерности освещения $Z=0,9$.

$$F = \frac{k \cdot S \cdot Z \cdot E_H}{n \cdot \eta} = \frac{400 \cdot 1,5 \cdot 45 \cdot 0,9}{15 \cdot 0,45} = \frac{24300}{6,75} = 3600 \text{ лм.}$$

$$F_{\text{ТАБЛ}} = 3950 \text{ лм.}$$

Определяем фактическую освещённость E_ϕ и погрешность расчёта E :

$$E_\phi = (F_{\text{ТАБЛ}} \times n \times \eta) / (S \times k \times Z) = (3960 \times 15 \times 0,45) / (45 \times 1,5 \times 0,9) = 440 \text{ лк}$$

$$\Delta E = \frac{E_\phi - E_H}{E_H} \cdot 100\% = \frac{440 - 400}{400} \cdot 100\% = 10\%$$

Светильники обеспечивают заданную освещенность в $E_H = 400 \text{ лк}$;

$$E_\phi > E_H. 440 > 400 \text{ лк.}$$

Фактическая величина освещенности не должна отличаться от нормированной больше чем на $(-10 \pm 20)\%$. [4,8,15]

2) Наличие шума в рабочих помещениях

Источники возникновения: Источниками шума на производстве является технологическое оборудование, системы вентиляции, компрессоры.

Воздействие на организм: Шум звукового диапазона замедляет реакцию человека на поступающие от технических устройств сигналы, это приводит к снижению внимания и увеличению ошибок при выполнении различных видов работ. Шум угнетает центральную нервную систему (ЦНС), вызывает изменения скорости дыхания и пульса, способствует нарушению обмена веществ, возникновению сердечно-сосудистых заболеваний, гипертонической болезни. [1,4,7,11]

Средства защиты: рациональная планировка предприятий и производственных помещений, акустическая обработка помещений, применение звукоизоляции, (СИЗ) беруш и наушников. Норма шума 60дБА, по регламенту ПСОППУН. [1,4,7,11]

3) Повышение или понижение температуры воздуха рабочей зоны при работе на установке

Источники возникновения: повышенная или пониженная температура воздуха рабочей зоны при работе на установке (возможность получения ожогов при разгерметизации трубопроводов, обморожения участков кожи обслуживающего персонала в результате контакта с СУГ при разгерметизации трубопроводов СПБТ).

Воздействие на организм: вдыхание паров СПБТ вызывает галлюцинации, удушье и сердечную аритмию. При попадании на тело сжиженного газа или струи его испарений вызывает охлаждение до -20°C , что крайне опасно.[2,4,11]

Средства защиты: выдача средств СИЗ, спецодежда (костюм х/б от ОПЗ), перчатки (с полимерным покрытием Хайлайт), противогаз фильтрующий (БКФ-3), самоспасатель (ПДУ-3).[2,4,11]

4) Повышенная загазованность воздуха рабочей зоны при разгерметизации аппаратов. Характеристика газовой фракции (СПБТ).

Свойства вещества: бесцветный газ с резким запахом.

Содержание пропилена не менее (75%), остальных примесей не регламентируется. [1,3,7,12,14]

Воздействие на организм: токсичен, вызывает раздражение кожи, слизистых оболочек глаз, верхних дыхательных путей. Длительное вдыхание приводит к хроническим заболеваниям дыхательных путей, анемии, поражению печени, ПДК: 300 мг/м³. [1,3,7,12,14]

Первая помощь: свежий воздух, промывание глаз, рта 5% раствором соды. При сильном отравлении делать искусственное дыхание, немедленно вызвать скорую медицинскую помощь. [1,3,7,12,14]

6.1.2 Описание опасных факторов, источники возникновения, воздействие на человека и предлагаемые средства защиты

1) Поражения электрическим током

Источники возникновения: короткое замыкание.

Свойства вещества: направленное движение электрически заряженных частиц под воздействием электрического поля. Такими частицами могут являться: в проводниках – электроны в электролитах – ионы (катионы и анионы) в полупроводниках – электроны и так называемые, "дырки" ("электронно-дырочная проводимость"). [2,4,9,10,11,16]

Воздействие на организм: судорожное сокращение мышц без потери сознания; судорожное сокращение мышц с потерей сознания, но с сохранившимся дыханием и работой сердца; потеря сознания и нарушение сердечной деятельности или дыхания (или того и другого); состояние клинической смерти. [2,4,9,10,11,16]

Средства защиты: недоступностью токоведущих частей; надлежащей, а в отдельных случаях повышенной (двойной) изоляцией; заземлением или занулением корпусов электрооборудования и элементов электроустановок,

могущих оказаться под напряжением; надежным и быстродействующим автоматическим защитным отключением. [2,4,9,10,11,16]

2) Опасность взрыва и пожара

Источники возникновения: взрывы резервуаров с газовой фракцией, обрушение элементов строительных конструкций, замыкание электрических сетей.

Свойства вещества: открытое пламя, искра, электрическая дуга, нагретые поверхности и др.

Воздействие на организм: Потеря видимости вследствие задымления, пониженная концентрация кислорода. [1,4,11,13]

Средства защиты: Электропроводку во избежание возникновения короткого замыкания, способного привести к пожару, изолируют. Изолируют от влаги розетки, расположенные в санузлах и на внешних стенах. Устанавливают автоматические предохранители. Теплоизолируют газовые и электрические плиты от деревянной мебели. Для тушения окурков используют пепельницы. [1,4,11,13]

6.2 Экологическая безопасность

В результате деятельности производство по ПСОППУН оказывает воздействие на атмосферу в виде выброса газовой фракции, но до состояния атмосферы города до уровней ПДК. Для обеспечения охраны воздушного бассейна в случае аварийных ситуаций и остановки производства на ремонт предусмотрены следующие меры:

- сбросы от предохранительных клапанов производятся в факельную систему;
- сброс продувочных газов, содержащих взрывопожароопасные и вредные вещества, предусмотрен в факельную систему;
- на технологических трубопроводах установлена межблочная отсечная арматура с дистанционным управлением для отключения оборудования в случае аварии. [1,7,12,14,таблица 6.1.2]

Таблица 6.1.2 Норм и выбросов на воздействие окружающей среды по регламенту ПСОППУН [11]

Наименование выброса, отделение, аппарат, диаметр и высота выброса	Количество источников выбросов	Суммарный объем отходящих газов, м ³ /ч	Периодичность	Характеристика выброса				Примечание (суммарный годовой выброс вредных веществ, т/год)
				Температура, °С	Состав выброса, мг/м ³	ПДК атм. в. Вредных веществ, мг/м ³	Допустимое количество нормируемых компонентов вредных веществ, выбрасываемых в атмосферу, кг/ч	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1 Вентиляционные выбросы из насосной (корпус 1171)	2	23544	Постоянно	20±5	Смесь углеводородов С ₁ -С ₅	50	0,96408	1,3938
					СПБТ	3	0,02376	0,1526
					Пропен (пропилен)	3	0,37584	1,253
2 Вентиляционные выбросы из компрессорной (корпус 1099)	3	25167,6	Постоянно	20±5	Смесь углеводородов С ₁ -С ₅	50	0,29165	2,3332
					Пропен (пропилен)	3	0,1405375	1,1243
					СПБТ	3	0,110475	0,8838

6.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Правила аварийной остановки производства, возможные аварийные состояния производства, способы их предупреждения и устранения:

- отключение электроэнергии;
- прекращение подачи сжатого воздуха КИП;
- прекращение подачи азота;
- прекращение подачи теплофикационной воды;
- загазованность вследствие разгерметизации оборудования;
- пожар;
- землетрясение по регламенту ПСОППУН.

Возможные виды аварийного состояния производства и способы их устранения:

1. Отключение электроэнергии:

- определить совместно с дежурным электромонтером, какое оборудование обесточено и по какой причине;
- осуществлять, до возобновления электропитания, контроль за состоянием технологического оборудования по месту, в темное время суток использовать аккумуляторный светильник во взрывобезопасном исполнении напряжением не более 12 В (находится на ЦПУ);
- слить воду из системы оборотного водоснабжения, улиток насосов Н-1/1,2, Н-3/1,2, и из пожарохозяйственных трубопроводов по месту (в холодное время года, в случае понижения температуры в производственных помещениях до 0 °С, для исключения размораживания оборудования).

2. Прекращение подачи воздуха КИП

В случае прекращения подачи сжатого воздуха КИП, работа пневматических регулирующих клапанов обеспечивается в течение 10-15 минут за счет воздушного ресивера В-3,2. По истечении этого времени произойдет открытие клапанов PIC-3, PIC-25, FIC –61, PICA-68, FICA-68, PIC-88-1, PIC-88-2, FRCA –62 (регулирующие клапаны исполнения «НО»).

При отсутствии сжатого воздуха КИП:

- перекрыть вручную (по месту) запорную арматуру на клапанных сборках подачи и сброса топливного газа;

- остановить компрессоры К-4/1-4 и насосы сжиженных углеводородных газов (СУГ) Н-10/3,4, Н-68/1,2,3, Н-61/1,2, Н-62/3,4, по месту или дистанционно со щита ЦПУ т.1171, сообщив смежным цехами диспетчеру ООО «Томскнефтехим» о прекращении подачи СУГ;

- прекратить проведение операций слива и налива СУГ на СНЭ т.1100 и отсоединить сливо-наливные рукава от вагонов-цистерн;

- в теплое время года, при хранении пропилена в полуизотермическом режиме, прекратить прием пропилена с производства «Этилен» в шаровые резервуары Е-1/5-12 во избежание повышения давления в них выше рабочего 0,9 МПа;

- в случае повышения давления паров СУГ в шаровых резервуарах хранения пропилена Е-1/5-12 и пропан–бутановой фракции (СПБФ) Е-1/1-4, Е-101/1-4 выше рабочего 0,9 МПа, произвести сброс избыточного давления из них через ручную запорную арматуру байпасов ППК на факел.

3. Прекращение подачи азота:

- закрыть задвижку на входе азота в ОСГ поз. IV-A-8 во избежание попадания горючих газов в коллектор азота обратным ходом;

- прекратить проведение налива фракции (СПБТ) в вагоны-цистерны для исключения образования вакуума в шаровых резервуарах Е-101/5-12 вследствие понижения уровня в них.

В случае подготовки оборудования к ремонту:

- закрыть арматуру на линиях подачи азота и сброса на факел на оборудовании, подготавливаемом к ремонту, во избежание попадания горючих газов из коллектора факела в оборудование и коллектор азота обратным ходом. Временную схему подачи азота разобрать.

4. Прекращение подачи теплофикационной воды (в холодное время года)

Принять меры по недопущению размораживания коллекторов теплофикационной воды, наружных змеевиков обогрева емкостей теплоспутников, калориферов приточной вентиляции, систем отопления корпусов, системы обратного водоснабжения, рубашек охлаждения компрессоров К-4/1-4, пожарных кранов, трубопроводов и насосов пожаротушения, насосов КНС, для чего необходимо:

- отключить приточную и вытяжную вентиляцию производственных помещений к. 1042, 1103, 1099, 1171;

- открыть дренажи для спуска воды из калориферов, змеевиков, теплоспутников, коллекторов теплофикационной воды и систем отопления;

- закрыть задвижки на вводах пожарохозяйственной воды В-1 в к. 1113, 1105, 1103, 1042, 1099, 1171, 1143 и слить воду из пожарных и хозяйственных трубопроводов;

- отсечь при понижении температуры до $+3^{\circ}\text{C}$ насосы и трубопроводы пожаротушения к.1042 от пожарного резервуара и слить с них воду, разрядить вручную клапаны ГД (группового действия) к.1042 и клапан КЗС (клапан запорный сигнальный) в распределительном пункте (РП) пожаротушения к.1171;

- отключить вытяжную вентиляцию КНС к.1117, 1144.

5. Загазованность вследствие разгерметизации оборудования

5.1 При разгерметизации технологического оборудования трубопроводов в помещении насосных СУГ, компрессорной:

- отсечь аварийный блок межблочной запорной арматурой;

- продублировать включение аварийной вентиляции кнопкой снаружи входа в аварийное помещение;

- приступить после снижения концентрации углеводородных газов в помещении ниже 20% от НКПВ к работам по восстановлению герметичности оборудования.

5.2 При разгерметизация емкостного оборудования хранения СУГ:

- освободить аварийную емкость от жидкой фазы СУГ в другие резервуары парка хранения этого же продукта.

Аварийное освобождение резервуаров пропилена Е-1/5-12 производится внутрипарковым перекачиванием насосами Н-10/3,4.

Аварийное освобождение резервуаров пропан-бутановой фракции (ПБФ) Е-1/1-4, Е-101/1-4 производится внутрипарковым перекачиванием насосами Н-68/1,2,3.

Аварийное освобождение резервуаров ББФ Е-101/5-12 производится внутрипарковым перекачиванием насосами Н-62/3,4.

- отсечь аварийную емкость межблочной запорной арматурой, сбросить давление на факел, продуть азотом до содержания углеводородных газов не более 20% от НКПВ (нижний концентрационный предел взрываемости).

- приступить после снижения концентрации углеводородных газов в зоне аварии ниже 20% от НКПВ к проведению работ по восстановлению герметичности оборудования.

5.3 Разгерметизация трубопроводов и оборудования на наружных установках:

- отключить аварийный участок от действующих коммуникаций запорной арматурой;

- освободить аварийный участок от продукта и продуть азотом со сбросом на факел до содержания взрывопожароопасных веществ не более 20% от НКПВ;

- закрыть задвижку Ду400 на выходе сепаратора Е-11 открыть подачу азота в коллекторы факела 95, 96 на входах в сепараторы Е-11, Е-12, а также в межцеховой факельный трубопровод для предотвращения попадания в них кислорода;

- закрыть электрозадвижки на трубопроводах, по которым поступают на сливо-наливную эстакаду и отводятся от нее сжиженные углеводородные газы в случае возникновения аварийной разгерметизации на сливо-наливной эстакаде (СНЭ);

- приступить к проведению работ по восстановлению герметичности оборудования после снижения концентрации углеводородных газов в зоне аварии ниже 20% от НКПВ.

6. Пожар

6.1 Пожар в помещении компрессорной и насосной к.1099:

- остановить работающие компрессоры К-4/1-4 дистанционно со щита ЦПУ и закрыть межблочную запорную арматуру на всасе и нагнетании компрессоров для прекращения поступления взрывопожароопасных веществ в помещение;

- выключить приточную и вытяжную вентиляцию кнопкой «аварийного отключения вентиляции при пожаре», расположенной снаружи у входа в помещения;

- обесточить электрооборудование, находящееся в зоне аварии;

- проконтролировать срабатывание системы пожаротушения и при необходимости осуществить запуск вручную.

6.2 Пожар на наружной остановке:

- прекратить прием сжиженных газов в парк хранения СУГ, которым непосредственно угрожает пожар;

- произвести аварийное освобождение резервуаров хранения СУГ, которым непосредственно угрожает пожар;

- осуществлять охлаждение стенок резервуаров водой из лафетных стволов. Орошение каждого резервуара производить двумя струями;

- прекратить проведение сливо-наливных операций, закрыть электрозадвиги на трубопроводах, по которым поступают на СНЭ и отводятся от нее сжиженные углеводородные газы;

- отсоединить сливные (наливные рукава) и струбцины заземления от вагонов-цистерн и поднять откидные мостики. Через диспетчера железнодорожного цеха (ЖДЦ) вызвать тепловоз с прикрытием не менее 8-ми осей и убрать вагоны-цистерны с территории ОСГ.

При отсутствии возможности вывода вагонов-цистерн со СНЭ – производить охлаждение стенок цистерн водой из лафетных стволов.

Пожарная безопасность

Пожарная безопасность объекта обеспечивается рядом противопожарных мероприятий, предусмотренных в соответствии с Федеральным законом Российской Федерации от 22 июля 2008 г. N 123-ФЗ "Технический регламент о требованиях пожарной безопасности".

Работники, обслуживающие цех ПСГПУН, обязаны пройти противопожарный инструктаж и занятия по пожарно-техническому минимуму.

При работе на взрыво - пожароопасном производстве безопасность работающего персонала должна обеспечиваться:

- конструктивно-планировочным решением помещений, гарантирующим возможность осуществления быстрой эвакуации людей и ограничивающим распространение пожара;
- постоянным содержанием в надлежащем состоянии специального оборудования, способствующего успешной эвакуации людей в случае пожара (системы экстренного оповещения, аварийное освещение, знаки безопасности);
- ознакомлением всех работающих с основными требованиями пожарной безопасности и мерами личной предосторожности, которые необходимо соблюдать при возникновении пожара, а также планом эвакуации людей из помещения;
- установлением со стороны администрации систематического контроля за строжайшим соблюдением мер предосторожности при ремонтных работах, эксплуатации электроприборов, электроустановок и отопительных систем.

Для локализации и ликвидации пожара должны использоваться стационарные средства пожаротушения.

Размещение оборудования противопожарного водоснабжения и пожаротушения на площадке цеха выполнено согласно требованиям Федерального закона № 384-ФЗ от 30.12.2009, Федерального закона № 123-ФЗ от 22.07.2008, с учетом ГОСТ 31385-2008.

Противопожарным резервуаром $V=1000 \text{ м}^3$, водозаборного колодца на водопроводной сети, блок - боксапожаринвентаря. На объекте предусмотрено применение оборудования пенного и порошкового пожаротушения, а также первичных средств пожаротушения огнетушитель типа ОУ-80, ОВП-5, ОВП-10, песок, асбестовые одеяла.

Противопожарное водоснабжение

Противопожарное водоснабжение установки осуществляется из сети пожаро-хозяйственного водопровода и от отдельных противопожарных водопроводов высокого давления.

Противопожарное водоснабжение поступает на установку из сети по подземному трубопроводу диаметром 150 мм. Кольцевой подземный водопровод обеспечивает подачу противопожарной водой к пожарным гидрантам на территории цеха и к пожарным кранам в корпусах. Противопожарное водоснабжение обеспечивает водоотдачу до 50 литров в секунду.

Противопожарные подземные водопроводы предназначены для подачи воды из двух пожарных резервуаров вместимостью $V=1000 \text{ м}^3$ на лафетные установки и раствора пенообразователя к дренчерным системам в помещения насосных и компрессорных. Запас воды в пожарных водоемах обеспечивает расчетное время тушения 3 часа.

Подпитка пожарных резервуаров производится при необходимости из сети производственного водопровода.

Пенное пожаротушение

Запас пенообразователя составляет $V=16 \text{ м}^3$ и находится в двух резервуарах по $V=8 \text{ м}^3$ каждый в насосной пожаротушения.

Первичные средства пожаротушения, немеханизированный пожарный инструмент и инвентарь

К первичным средствам пожаротушения относятся:

- огнетушители, песок (в ящике), вода (объемом 0,2 м³ и/или 0,02 м³);
- асбестовое полотно, грубошерстная ткань или войлок (кошма, покрывало из негорючего материала).

К немеханизированному пожарному инструменту и инвентарю относятся:

- лом, багор, крюк с деревянной ручкой, ведро, лопаты.

Определение необходимого количества первичных средств пожаротушения для защиты зданий и сооружений выполнено по Приложению 6. Правил противопожарного режима в Российской Федерации, с учетом данных Приложений А и Б СП 9.13130.2009 «Техника пожарная. Огнетушители. Требования к эксплуатации». [11,13]

7. Землетрясение

При землетрясении, в зависимости от его силы, могут возникнуть все аварийные ситуации, предусмотренные перечнем аварийных ситуаций, как по отдельности, так и в различных сочетаниях, а так же одновременно.

В зависимости от возникших аварийных ситуаций, действовать согласно пунктов 1-6 настоящей инструкции, с оповещением старшего диспетчера ООО «Томскнефтехим» и начальника цеха.

При землетрясении выполняются также следующие мероприятия:

- прекращение огневых, газоопасных, земляных и ремонтных работ, работ на высоте, работ по ежесменному техническому обслуживанию оборудования, по уборке территории, по уборке снега;
- вывод из производственных зон, производственных и служебных помещений персонала, не задействованного ведением технологического процесса и не занятого локализацией аварийной ситуации;
- применять средства индивидуальной защиты органов дыхания – самоспасатель ПДУ-3 (в случае загазованности, пожаре);
- проверить численный состав персонала;

- выявить пострадавших и принять меры по оказанию первой помощи;
- обесточить оборудование, попавшее в зону аварии или разрушения;
- выставить посты для оцепления зоны аварии или разрушения, организовать встречу пожарной охраны, ВГСО, медслужбы и других служб и должностных лиц предприятия, спецподразделений ГО и ЧС, которые должны быть немедленно оповещены при аварийной ситуации или стихийном бедствии;

- при подземных толчках любой силы немедленно провести осмотр оборудования, коммуникаций, зданий и сооружений на предмет обнаружения повреждений, трещин, разгерметизации;

- усилить контроль за управлением технологическим процессом, за соблюдением норм технологического режима, за состоянием оборудования и коммуникаций. [11,13,]

6.4 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Правила работы с веществами, применяемыми в производстве, средства защиты работающих

При работе с газовой фракцией необходимо соблюдать следующие меры предосторожности:

1. Постоянно иметь при себе противогаз марки (БКФ) или самоспасатель марки (ПДУ-3), которыми пользоваться во всех случаях загазованности и при работе, где возможны выделения вредных газов и жидкостей.

2. На рабочем месте находиться только в спецодежде: Костюм (х/б от ОПЗ), ботинки, перчатки (с полимерным покрытием Хайлайт), респиратор, защитные очки в соответствии с нормами.

3. Поддерживать в герметичном состоянии все фланцевые соединения на аппаратах и трубопроводах, пропуски газов немедленно устранять.

4. Работа над резервуарами, производится только при наличии на них надежных крышек.

5. Перед ремонтом аппараты и трубопроводы должны быть нейтрализованы, продуты продукты.

6. При отборе проб необходимо надевать резиновые перчатки и защитные очки, пользоваться для отбора проб специальными пробоотборниками.

7. Осмотр аппаратов и ёмкостей необходимо выполнять в защитных очках и резиновых перчатках.

8. При термическом ожоге пострадавший должен немедленно обратиться в медпункт, запрещается отдирать от кожи пригоревшие остатки одежды, обрезать обгоревшую кожу, прокалывать ожоговые волдыри и промывать водой пораженные участки кожи.

9. Во избежание несчастных случаев необходимо соблюдение требований общецеховой инструкции по технике безопасности. [11]

7 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Цель: Рассчитать себестоимость на тонны готового продукта, в производстве этилена.

Потенциальные потребители

Целевой рынок – Химическая промышленность.

2. SWOT-анализ

Анализ факторов макросреды представлен в Таблице

Таблица 7.1 - Анализ факторов макросреды (факторы внешней среды дальнего действия)

Группа факторов	Факторы	Характер влияния на организацию «+», «-»	Действия организации
Экономический	1.Снижение покупательской способности потребителя	«-» уменьшение выручки от продажи	Повышение конкурентоспособности. Увеличение объема продаж за счет выхода на новые региональные и/или на международный рынок
	2. Рост темпов инфляции	«-» снижение покупательской способности потребителей	
	3. Увеличение налоговых ставок	«-» увеличение издержек производства, снижение чистой прибыли	Проведение оптимальной налоговой политики. Снижение себестоимости продукции
	4.Нестабильность экономики в стране	«-» проблемы финансирования, увеличение налоговой нагрузки, снижение спроса	Адаптация к изменениям во внешней среде

Научно-технический	1. Появление современных технологий (оборудования)	«←» сокращение чистого денежного потока в случае внедрения НТП конкурентами	Внедрение новых технологий (модернизация оборудования) с целью наработки конкурентных преимуществ продукта.
		«+» увеличение чистого денежного потока (повышение стоимости предприятия), увеличение объемов производства.	Увеличение производительности уже имеющегося оборудования. Осуществление постоянного контроля за техническим состоянием имеющегося оборудования, организация своевременных ремонтных работ
Социо-технические	1. Повышение уровня образования	«+» появление на рынке труда квалифицированных кадров	Прием на работу персонала высокой квалификации
	1. Снижение уровня образования в стране	«+» появление на рынке труда персонала недостаточной квалификацией	Эффективная кадровая политика с целью эффективного подбора персонала Обеспечение постоянного повышения квалификации персонала предприятия.

Таблица 7.2 - Анализ факторов микроокружения

Группа факторов	Факторы	Характер влияния на организацию «+», «-»	Действия организации
Потребители	Увеличение покупательской способности	«+» возможность увеличения объемов производимой продукции, увеличение прибыли	Модернизация производства, увеличение производительности оборудования, снижение себестоимости
	Снижение покупательской способности	«-» снижение объемов производимой продукции	Увеличение производительности оборудования. Поиск путей снижения себестоимости продукции
	Появление на рынке товаров-заменителей	«-» уменьшение выручки от продажи	Снижение себестоимости производимой продукции, эффективная маркетинговая политика
	Улучшение деловой репутации среди потребителей	«+» возможность увеличения объемов реализации, увеличение прибыли, привлечение новых потребителей	Удержание позиций предприятия: наработка и укрепление конкурентных преимуществ
	Ухудшение деловой репутации среди потребителей	«-» снижение объемов реализации, уменьшение чистой прибыли компании	Контроль качества производимой продукции, эффективная маркетинговая
Поставщики	Увеличение стоимости сырья, комплектующих	«-» увеличение себестоимости продукции «-» снижение конкурентоспособности	Рассмотрение новых форм сотрудничества, заключение долгосрочных договоров Поиск новых, более выгодных поставщиков.

			Расширение ассортимента, разработка товаров-заменителей
	Несоблюдение сроков и условий поставки	«←» перебои в поставках «←» сбои в работе предприятия	Введение штрафных санкций за несоблюдение обязательств Поиск новых поставщиков
	Поставка некачественного сырья и комплектующих	«←» увеличение себестоимости продукции «←» сбои в работе предприятия	
Конкуренты	Ужесточение конкуренции	«←» угроза снижения доли рынка, снижения объемов производства и реализации, уменьшение прибыли	Удержание позиций предприятия: наработка и укрепление конкурентных преимуществ, разработка программы продвижения продукта предприятия
	Улучшение репутации компании	«+» повышение конкурентоспособности предприятия, привлечение новых потребителей, вытеснение конкурентов и захват их ниш на рынке	
	Ухудшение репутации компании	«←» угроза снижения доли рынка, снижения объемов производства и реализации, уменьшение прибыли	

Таблица 7.3 - Анализ внутренней среды предприятия

Факторы среды	Сильные стороны	Слабые стороны
Маркетинг	<ol style="list-style-type: none"> 1. Наличие постоянных потребителей 2. Достаточная доля рынка 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Устаревшая программа продвижения продукции
Менеджмент	<ol style="list-style-type: none"> 1. Наличие четкой стратегии развития предприятия 2. Четко поставленные цели и задачи 3. Наличие высококвалифицированных управленческих кадров, постоянное повышение квалификации 4. Низкий уровень текучести кадров 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Отсутствие кадрового резерва
Кадры	<ol style="list-style-type: none"> 1. Высокий уровень профессионализма кадров 2. Высокая рентабельность персонала 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Низкая производительность персонала 2. Неэффективная система мотивации и стимулирования персонала 3. Отсутствие кадрового резерва
Производство	<ol style="list-style-type: none"> 1. Наличие современной технологии и оборудования 2. Конкурентоспособная позиция компании 3. Обеспечение бесперебойной поставки необходимого материала и сырья 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Отсутствие научно-технических разработок 2. Недозагрузка производственных мощностей
Корпоративная культура	<ol style="list-style-type: none"> 1. Хорошая репутация у потребителей 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Низкий уровень корпоративной культуры

Таблица 7.4 - Матрица SWOT-анализа

	<p>Возможности</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Рост спроса на рынке 2.Повышение покупательской способности потребителя 3. Выход на новые рынки или сегменты рынка 4.Увеличение объемов реализации 5. Снижение себестоимости продукции 6.Поиск альтернативных поставщиков сырья и материалов 	<p>Угрозы</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Ужесточение конкуренции 2. Повышение налогов 3. Рост темпов инфляции 4. Нестабильность экономики в стране 5. Снижение покупательской способности потребителя 6.Ухудшение деловой репутации среди потребителей 7. Сбой поставок материалов и комплектующих
<p>Сильные стороны</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Конкурентоспособная позиция 2. Хорошая репутация у потребителей 3.Наличие дополнительныхразведанных месторождений 4. Высокий уровень профессионализма кадров 5. Высокая рентабельность персонала 6. Наличие современного оборудования 	<p>Поле СиВ – рекомендации</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Привлечение новых потребителей путем освоения новых месторождений 2. Вытеснение конкурентов и захват их ниш на рынке 3. Увеличение объема продаж за счет выхода на новые региональные и/или международный рынок 	<p>Поле СЛиУ-рекомендации</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Понижение конкурентного давления более низкими ценами 2. Адаптация к изменениям во внешней среде 3. Новые технологии 4. Удержание позиций предприятия: наработка и укрепление конкурентных преимуществ
<p>Слабые стороны</p> <ol style="list-style-type: none"> 1.Зависимость от нестабильности экономики страны 2.Проблемы финансирования 3.Неплатежеспособность потребителей 4.Сокращение легко добываемой ресурсной базы 5. Недозагрузка производственных мощностей 6.Низкая производительность персонала 7.Отсутствие кадрового резерва. 	<p>Поле СиВ – рекомендации</p> <ol style="list-style-type: none"> 1.Повышение цен продукции на внутреннем рынке 2. Совершенствование системы налогообложения 3. Адаптация к изменениям во внешней среде 4. Рассмотрение новых форм сотрудничества с поставщиками, заключение долгосрочных договоров. 	<p>Поле СЛиУ– рекомендации</p> <ol style="list-style-type: none"> 1.Техническое переоснащение отрасли 2.Извлечение урана из месторождений с малыми запасами 3.Увеличение производительности оборудования 4.Поиск новых, более выгодных поставщиков 5.Разработка эффективной системы мотивации и стимулирования персонала.

1) Расчет годовой производственной мощности

Годовая производственная мощность вычисляется по формуле:

$$M = P_{\text{час}} * T_{\text{эфф}} * n,$$

где $P_{\text{час}}$, – часовая производительность ведущего оборудования;

$T_{\text{эфф}}$ – эффективное время работы оборудования;

n – Количество однотипного оборудования.

Часовая производительность составляет $P_{\text{час1}} = 4000$ кг/ч.

Эффективное время оборудования определяется по формуле:

$$T_{\text{эфф}} = T_{\text{н}} - T_{\text{ппр}} - T_{\text{то}}$$

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

$$T_{\text{н}} = 365 \text{ дней} \times 24 \text{ часа} = 8760 \text{ часов};$$

$T_{\text{ппр}}$ – время простоя в ремонтах за расчетный период;

$$T_{\text{ппр}} = 20 \text{ дней} \times 24 \text{ часа} = 480 \text{ часов};$$

$T_{\text{то}}$ – время технологических остановок;

$$T_{\text{то}} = 1 \text{ раз в год} \times 2 \text{ дня} \times 24 \text{ часа} = 48 \text{ часов};$$

Таким образом:

$$T_{\text{эфф}} = 8760 - 480 - 48 = 8232 \text{ ч.}$$

Таким образом, годовая производственная мощность:

$$M = 4000 * 8232 * 1 = 32928 \text{ тонн/год.}$$

Коэффициент экстенсивности:

Он характеризуется использованием основного оборудования по времени:

$$K_{\text{экст}} = \frac{T_{\text{эфф.г}}}{T_{\text{кал}}} = \frac{8232}{8760} = 0.94$$

Коэффициент интенсивности:

Характеризует использование оборудования по производительности.

$$K_{\text{инт}} = (P_{\text{факт}} * K_{\text{р}}) / (P_{\text{техн}} * K_{\text{уст}}) = (4000 * 1) / (4000 * 1) = 1$$

где: $P_{\text{ФАКТ}}$ - фактическая производительность, $P_{\text{ФАКТ}} = 4000$ кг/ч.

$P_{\text{ТЕХН}}$ - техническая норма производительности, $P_{\text{ТЕХН}} = 4000$ кг/ч.

$K_{\text{р}}$ - количество работающего оборудования;

$K_{уст}$ - количество установленного оборудования.

Коэффициент мощности:

$$K_m = K_{инт} * K_{экст} = 0.94 * 1 = 0.94$$

Годовая программа выпуска:

где: K_m - коэффициент мощности, $K_m = 0,94$;

M - производственная мощность, $M = 32928$ тонн/год.

$$N_{год} = 32928 / 0,94 = 35030 \text{ тонн/год.}$$

Таблица 7.5- График сменности

Номер смены	Часы работы	Дни месяца															
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	0-8	А	А	А	А	В	В	В	В	С	С	С	С	Д	Д	Д	Д
2	8-16	С	Д	Д	Д	Д	А	А	А	А	В	В	В	В	С	С	С
3	16-24	В	В	С	С	С	С	Д	Д	Д	Д	А	А	А	А	В	В
Отдых		Д	С	В	В	А	Д	С	С	В	А	Д	Д	С	В	А	А

Таблица 7.6 - Баланс эффективного времени одного среднесписочного работника

№№ п/п	Показатели	Дни	Часы
1.	Календарный фонд рабочего времени	365	8760
2.	Нерабочие дни		
	• выходные	92	2208
	• праздничные	-	-
3.	Номинальный фонд рабочего времени	273	2184
4.	Планируемые невыходы		
	• очередные и дополнительные отпуска	30	720
	• невыходы по болезни	8	192
5.	Эффективный фонд рабочего времени	235	1880

Таблица 7.7 - Расчет численности персонала

Категория персонала	Норма обслуживания, $N_{обс}$	Число смен в сутки, S	Число единиц оборудования, n	Явочная численность, $N_{яв}$	Эффективное время рабочего, $T_{эфф}$, час	Коэф-т перехода, $K_{пер}$	Списочная чис-ть, $N_{сп}$
Основные рабочие	1	3	1	3	1880	4,4	12
Вспомогательные рабочие	1	3	1	3	1880	4,4	12

$$K_{\text{пер}} = T_{\text{эф.обор}} / T_{\text{эф.раб}} = 8232 / 1880 = 4,4$$

Таблица 7.8 - Порядок расчета годового фонда заработной платы основных рабочих

Этапы расчета	Размер выплат (руб.)
1.Расчёт тарифного фонда зарплаты	282000
2.Премииальный фонд ($D_{\text{прем}}$)	56400
3.Доплата за работу в ночное время	28200
4. Доплата за работу в праздничные дни	43200
5.Основная зарплата ($Z_{\text{осн}}$)	409800
6.Дополнительная зарплата	66266
7.Районный коэффициент	1.3
8.Начисления на зарплату	618886
9. Начисления на зарплату с учетом численности персонала	7426632

Расчет годового фонда заработной платы основных рабочих:

Расчёт тарифного фонда зарплаты:

$$Z_{\text{ТАР}} = T_{\text{СТ}} T_{\text{ЭФФ}},$$

Где $T_{\text{СТ}}$ - тарифная ставка соответствующего разряда рабочего.

$T_{\text{ЭФФ}}$ - эффективный фонд рабочего времени. (235 дня, по 8 часовой рабочей смене).

$$T_{\text{ЭФФ}} = 235 \text{ дней} = 1880 \text{ часов.}$$

$$T_{\text{СТ}} = 150 \text{ рублей/час.}$$

$$Z_{\text{ТАР}} = 282000 \text{ руб/год.}$$

Премииальные 20% от $Z_{\text{ТАР}}$:

$$D_{\text{прем}} = Z_{\text{ТАР}} 20\% / 100\% = 56400 \text{ рублей.}$$

Доплата за работу в ночное время: (40 % от ($T_{\text{СТ}} t_{\text{НВ}}$)).

Время ночной работы $t_{\text{НВ}} = 470$ часов в год.

$$D_{\text{НВ}} = t_{\text{НВ}} T_{\text{СТ}} 40\% / 100\% = 28200 \text{ рублей.}$$

Доплата за работу в праздничные дни ($D_{ПР}$):

Восьми часовой день, тарифная ставка 150 рублей/час.

$$D_{ПР} = N_{ЯВ} T_{ПР} T_{СТ} = 3 * (12 * 8) * 150 = 43200 \text{ рублей.}$$

Основная зарплата ($Z_{ОСН}$):

$$Z_{ОСН} = Z_{ТАР} + D_{ПРЕМ} + D_{НВ} + D_{ПР} = 282000 + 56400 + 28200 + 43200 = 409800 \text{ рублей.}$$

Дополнительная зарплата ($Z_{ДОП}$):

$$Z_{ДОП} = (D_{Н} * Z_{ОСН}) / T_{ЭФФ} = 38 * 409800 / 235 = 66266 \text{ рублей.}$$

Где $D_{Н}$ – количество дней невыхода на работу по планируемыми причинам (отпуск, гособязанности) 38 дней.

Годовой фонд заработной платы:

$$ФЗП_{год1} = (409800 + 66266) * 1.3 = 618886 \text{ рублей.}$$

С учетом численности рабочих (12 человек): 7426632 рублей в год.

Таблица 7.9 - Порядок расчета годового фонда заработной платы вспомогательных рабочих

Этапы расчета	Размер выплат (руб.)
1.Расчёт тарифного фонда зарплаты	188000
2. Премияльный фонд ($D_{ПРЕМ}$)	37600
3.Доплата за работу в ночное время	18800
4.Доплата за работу в праздничные дни	19200
5.Основная зарплата ($Z_{ОСН}$)	263600
6.Дополнительная зарплата	42625
7.Районный коэффициент	1,3
8.Начисления на зарплату	398093
9. Начисления на зарплату с учетом численности персонала	4777116

Годовой фонд заработной платы:

$$ФЗП_{год2} = 398093 \text{ рублей.}$$

С учетом численности рабочих: 4777116 рублей в год.

Тарифная ставка: 100 рублей/час.

Таблица 7.10 - Расчет численности ИТР

Наименование должности	Категория	Тарифный разряд	Явочная численность	Количество смен в сутках	Штатная численность
Мастер	ИТР	10	1	1	2
Технолог	ИТР	10	1	1	2

Таблица 7.11 - График сменности ИТР

Номер смены	Часы работы	Дни месяца															
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	8-16	А	А	А	А	В	В	В	В	А	А	А	А	В	В	В	В

Из сотрудников ИТР никто не требуется в вечернюю и в ночную смену.

Таблица 7.12 - Порядок расчета годового фонда зарплаты ИТР

Этапы расчета	Размер выплат (руб.)	
	Технолог	Мастер
1. Расчёт тарифного фонда зарплаты	345600	345600
2. Премияльный фонд (Дпрем)	69120	69120
3. Доплата за работу в праздничные дни	28800	28800
4. Основная зарплата (Зосн)	409800	409800
5. Дополнительная зарплата	66266	66266
6. С учетом районного коэффициента	1.3	1.3
7. Начисления на зарплату	618886	618886
8. Начисления на зарплату с учетом численности персонала	1237772	1237772

Расчет годового фонда заработной платы ИТР:

Расчёт тарифного фонда зарплаты:

$$Z_{\text{ТАР}} = T_{\text{СТ}} T_{\text{ЭФФ}},$$

Где $T_{\text{СТ}}$ - тарифная ставка соответствующего разряда рабочего.

$T_{\text{ЭФФ}}$ - эффективный фонд рабочего времени. (144 дня, по 8 часовой рабочей смене).

$T_{\text{ЭФФ}} = 144 \text{ дней} = 1152 \text{ часов}$.

$T_{\text{СТ}} = 300 \text{ рублей/час}$.

$Z_{\text{ТАР}} = 345600 \text{ руб/год}$.

Премии 20% от $Z_{\text{ТАР}}$:

$D_{\text{ПРЕМ}} = Z_{\text{ТАР}} 20\% / 100\% = 69120 \text{ рублей}$.

Доплата за работу в праздничные дни ($D_{\text{ПР}}$):

Официальных праздников в России – 12 дней в году.

Восьми часовой день, тарифная ставка 300 рублей/час.

$D_{\text{ПР}} = N_{\text{ЯВ}} T_{\text{ПР}} T_{\text{СТ}} = 1 * (12 * 8) * 300 = 28800 \text{ рублей}$.

Основная зарплата ($Z_{\text{ОСН}}$):

$Z_{\text{ОСН}} = Z_{\text{ТАР}} + D_{\text{ПРЕМ}} + D_{\text{НВ}} + D_{\text{ПР}} = 282000 + 56400 + 28200 + 43200 = 409800 \text{ рублей}$.

Дополнительная зарплата ($Z_{\text{ДОП}}$):

$Z_{\text{ДОП}} = (D_{\text{Н}} * Z_{\text{ОСН}}) / T_{\text{ЭФФ}} = 38 * 409800 / 235 = 66266 \text{ рублей}$.

Где $D_{\text{Н}}$ – количество дней невыхода на работу по планируемыми причинам (отпуск, гособязанности) 38 дней.

Годовой фонд заработной платы:

$\Phi ЗП_{\text{Год}} = (409800 + 66266) * 1.3 = 618886 \text{ рублей}$.

С учетом численности рабочих (2 человек): 1237772 рублей в год.

Расчет затрат на производство продукции

а) Определение затрат на сырье и материалы производим исходя из принятого объема производства, удельных норм расхода сырья и материалов и планово-заготовительных цен.

Таблица 7.13 - Расчет годовой потребности в сырье и материалах

Наименование сырья	Ед. изм.	Цена за 1 тонну, руб.	Расход, кг		Затраты	
			На единицу готовой продукции	На весь объем пр-ва	На единицу готовой продукции, руб.	На весь объем пр-ва, тыс. руб.
1.ПБФ	тонна	10000	1	30952	10000	309520

б) Расчет амортизационных отчислений

Для расчета амортизационных отчислений необходимо учесть:

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

Таблица 7.14 - Расчет амортизационных отчислений

Наименование основных средств	Норма аморти.%	1-й год		2-й год		3-й год	
		Соф, тыс. руб.	АО ₁ , тыс. руб.	АО ₂ , тыс. руб.	Остаточ. стоимость	АО ₃ , тыс. руб.	Остаточ. стоимость
1.Здание	2,5	20000	500	500	19000	500	18500
2.Оборудование	5	5000	250	250	4500	250	4250
2.1 Теплообменник	5	2000	100	100	1800	100	1700
2.2 Емкость для конденсации метанола	5	2000	100	100	1800	100	1700
2.3 Емкость для хранения метанола	5	1000	50	50	900	50	850
Итого		25000	750	750	23500	750	22750

в) Планирование себестоимости продукции

Таблица 7.15 - Калькуляция себестоимости на производство и 0-реализацию продукции при заданном объеме производства (Q)

$N_{\text{год}} = 30952$ тонн/год.

Статьи затрат	Единица измерения	Затраты на единицу готовой продукции тыс. руб.	Затраты на весь объем тыс. руб.
1. Сырье	тыс. руб.	10	309520
2. Энергия	тыс. руб.	0,1	3095,2
3. Заработная плата основных рабочих	тыс. руб.	0,24	7426,632
3.1 Отчисления на соц. нужды основных рабочих (30%)	тыс. руб.	0,072	2227,989
Итого переменных издержек	тыс. руб.	10,412	322269,821
4.Общепроизводственные накладные расходы	тыс. руб.	0,357	11045,373
4.1 Расходы на содержание и эксплуатацию оборудования:	тыс. руб.	0,098	3050
-Амортизация оборудования;	тыс. руб.	0,024	750
-Ремонт оборудования;	тыс. руб.	0,032	1000
-Заработная плата ремонтного персонала;	тыс. руб.	0,032	1000
-Отчисление на соц. нужды ремонтного персонала (30%);	тыс. руб.	0,009	300
4.2.Заработная плата ИТР:	тыс. руб.	0,1039	3218,207
- Заработная плата технолога;	тыс. руб.	0,03999	1237,772
- Заработная плата мастера;	тыс. руб.	0,03999	1237,772
-Отчисление на соц. нужды ИТР (30%)	тыс. руб.	0,0239	742,663
4.3. Годовой фонд заработной платы вспомогательных рабочих	тыс. руб.	0,154	4777,116
5. Прочие производственные издержки	тыс. руб.	1,601	49560,984
Итого постоянных издержек	тыс. руб.	1,958	60608,281
Цеховая (производственная) себестоимость	тыс. руб.	12,37	382878,102
Итого условно-переменных издержек	тыс. руб.	10,412	322269,821
Итого условно-постоянных издержек	тыс. руб.	1,958	60608,281

Полная себестоимость единицы готовой продукции С:

$$C = 382878,102/30952 = 12,37 \text{ тыс. рублей.}$$

С помощью затратного метода найдем цену продукции за 1 тонну, а затем подсчитаем выручку:

$$Ц=C*(1+R/100),$$

где: С - полная себестоимость, руб.; R - рентабельность, 10 %.

$$Ц = 12,37 \cdot (1+10/100) = 13,6 \text{ тыс. рублей}$$

Принимаем цену на этилен за 1 тонну 13600 рублей:

Финансовый план

Таблица 7. 16 - Расчет чистого денежного потока (ЧДП)

Наименование статей	Годы:			
	1	2	3	4
1.Объем продаж тонн	30952	30952	30952	30952
2.Цена 1 тонну газового конденсата руб.	13600	13600	13600	13600
3.Выручка от реализации тыс. руб.	420947,2	420947,2	420947,2	420947,2
4.Суммарные издержки тыс. руб.	382878,102	382878,102	382878,102	382878,102
4.1 Переменные издержки тыс. руб.	322269,821	322269,821	322269,821	322269,821
4.2 Постоянные издержки тыс. руб.	60608,281	60608,281	60608,281	60608,281
5. Прибыль до вычета налогов тыс. руб.	38069,098	38069,098	38069,098	38069,098
6. Налог на прибыль тыс. руб. (20% от прибыли)	7613,819	7613,819	7613,819	7613,819
7. Чистая прибыль тыс. руб.	30455,279	30455,279	30455,279	30455,279
8. Амортизация тыс. руб.	750	750	750	750
9.Чистый денежный поток от операционной деятельности тыс. руб.	31205,279	31205,279	31205,279	31205,279
10. Чистый дисконтированный доход	26004,4	21670,33	18048,17	15075,88

Анализ безубыточности:

Определяем точку безубыточности:

Точка безубыточности определится следующим образом:

$$Q_{\text{кр}} = 60608,281 / (13,6 - 10,412) = 19,010 \text{ тыс. т}$$

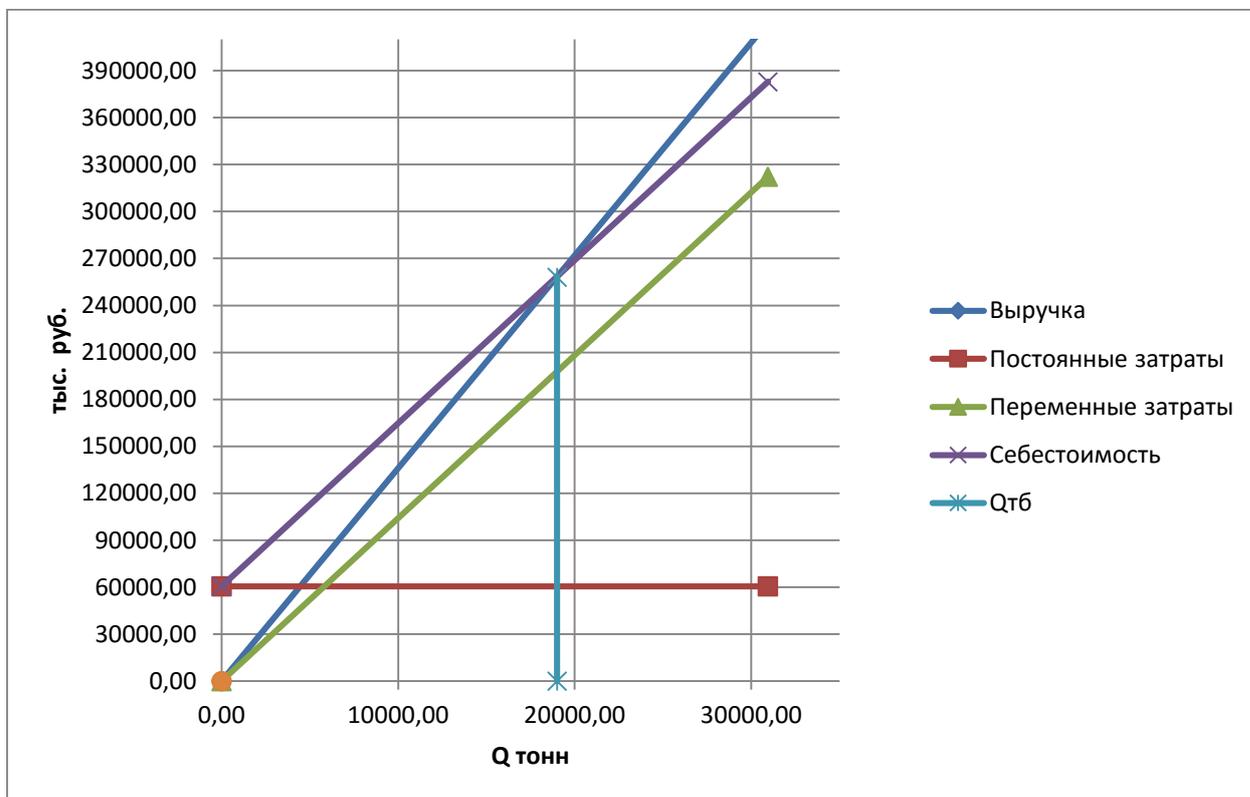


Рисунок 7.1.1 - График определения точки безубыточности

Из графика находим, что $Q_{\text{тр}} = 19000 \text{ т}$.

Чистый дисконтированный доход (NPV) ЧДД

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{\text{ЧДП}_{\text{оп}t}}{(1+i)^t} - I_0$$

где $\text{ЧДП}_{\text{оп}t}$ – чистые денежные поступления от операционной деятельности;

I_0 – разовые инвестиции, осуществляемые в нулевом году;

t – номер шага расчета ($t=0, 1, 2 \dots n$);

n – горизонт расчета;

i – ставка дисконтирования (желаемый уровень доходности инвестируемых средств).

$$NPV = \frac{31205279}{1+0.2} + \frac{31205279}{(1+0.2)^2} + \frac{31205279}{(1+0.2)^3} + \frac{31205279}{(1+0.2)^4} - 25000 =$$

$$= 55798,78 \text{ тыс.руб.}$$

$NPV > 0$ проект является эффективным (при данной норме дисконта). Чем больше NPV , тем проект эффективнее.

Срок окупаемости устанавливается путем определения кумулятивного (накопленного) денежного потока.

Срок окупаемости определяется по следующей формуле:

$$PP = I_0 / \text{чдп}$$

$$PP = 25000 / 124820 = 0.801 \text{ лет}$$

Индекс доходности (рентабельности) инвестиций PI

Индекс доходности показывает, сколько приходится дисконтированных денежных поступлений на рубль инвестиций.

Расчет этого показателя осуществляется по формуле:

$$PI = \sum_{t=1}^n \frac{ЧДП_t}{(1+i)^t} / I_0$$

Где I_0 – первоначальные инвестиции.

Условием эффективности инвестиционного проекта по данному показателю является выполнение $PI > 1$.

Расчет доходности (рентабельности) инвестиций PI :

$$PI = 80798,78 / 25000 = 3,23$$

$3,23 > 1$. Инвестиционный проект эффективен

Таблица 7.17 - Расчет внутренней ставки доходности

i	NPV, рублей
0,1	3368000
0,2	1040000
0,3	-995900
0,4	-2711000
0,5	-4196000

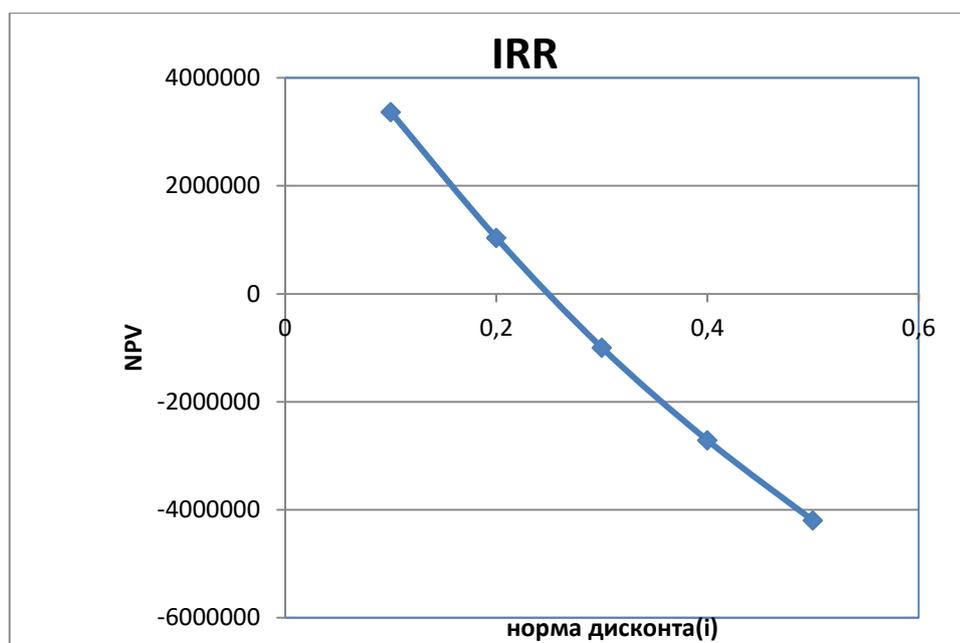


Рисунок 7.1.2 - График зависимости NPV от ставки дисконтирования

Таблица 7.18 - Техничко-экономические показатели

Наименование показателя	Ед. изм.	Отчетный год
1. Объем производства	тон	30952
2. Объем продаж	тон	30952
3. Цена 1 тонны	тыс. руб.	13,6
4. Выручка от продажи (2*3)	тыс. руб.	420947,2
5. Суммарные издержки	тыс. руб.	382878,102
5.1.Издержки переменные	тыс. руб.	322269,821
5.2.Издержки постоянные	тыс. руб.	60608,281
6. Операционная прибыль (4–5)	тыс. руб.	38069,098
7. Налог на прибыль (6*20%)	тыс. руб.	7613,819
8. Чистая прибыль (6–7)	тыс. руб.	30455,279
9. Себестоимость 1 тонны	тыс. руб.	12,37
10. Стоимость основных средств	тыс. руб.	25000
11. Численность основных рабочих	чел.	12
12. Фондовооруженность (10/11)	тыс. руб./чел.	2083,3
13. Фондоотдача (4/10)	руб./руб.	16,84
14. Фондоёмкость (10/4)	руб./руб.	0,06
15. Производительность труда (4/11)	тыс. руб./чел.	35078,9
16. Рентабельность производства	%	7,95

(8*100%/5)		
17. Рентабельность продаж (8*100%/4)	%	7,23
18. Критический объем продаж (Q _{кр.})	тонн	19000
19. Критический объем продаж (Q _{кр.})	тыс. руб.	258400
20. Чистая текущая стоимость (NPV)	тыс. руб.	55798,78
21. Индекс доходности инвестиций (PI)	-	3,23
22. Внутренние ставка доходности (IRR)	%	25
23. Срок окупаемости	годы	0,801

Выводы

Данный расчет составлен для описания технико-экономического обоснования и реализации проекта по модернизации участка первичной обработке пропан-бутановой фракции, которая является сырьем для производства этилена.

Раздел содержит оценку экономической целесообразности принятых в проекте решений и определение ожидаемой экономической эффективности от применения, разработанного в проекте оборудования. Определен размер инвестиций, требуемых для реализации проекта. На основе этих данных вычисляется себестоимость продукции. Составлен план доходов и расходов, с помощью которого проводится оценка эффективности проекта по таким показателям, как чистый дисконтированный доход, индекс доходности, внутренняя норма доходности, срок окупаемости. Эффективность проекта подтверждена и отображена в расчетах.

Список литературы

- 1 Лацинский А.А., Толчинский А.Р. «Основы конструирования и расчеты химической аппаратуры» Справочник: Издательство: «Л: Машиностроение» 1970г. -752с.
- 2 Иоффе И.Л. «Проектирование процессов и аппаратов химической технологии» Издательство: «Л: Химия» 1991г. -352с.
- 3 Дытнерский Ю.И., Борисов Г.С., Брыков В.П. и др. «Основные процессы и аппараты химической технологии» Издательство: «М: Химия» 1978г. -496с.
- 4 Вихман Г.Л., Круглов С.А, «Основы конструирования аппаратов и машин нефтеперерабатывающих заводов» Издательство: «М: Машиностроение» 1978г. -328с.
- 5 Михалев М.Ф., Терентьев Н.П. «Расчеты и конструирование машин и аппаратов химических производств» Издательство: «Л: Машиностроение» 1984г. -301с.
- 6 ГОСТ Р 52857.4-2007 «Расчет на прочность и герметичность фланцевых соединений».
- 7 Павлов К.Ф., Романков П.Г., Носков А.А. «Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии»: Издательство: «Л: Химия» 1987г. -576с.
- 8 АТК 24.218.06-90 Штуцера для сосудов и аппаратов стальных сварных. Типы, основные параметры, размеры и общетехнические требования.
- 9 ГОСТ Р 52857.3-2007 «Укрепление отверстий в обечайках и днищах при внутреннем и внешнем давлениях».
- 10 ГОСТ Р 52857.7-2007 Сосуды и аппараты НОРМЫ И МЕТОДЫ РАСЧЕТА НА ПРОЧНОСТЬ Теплообменные аппараты.
- 11 Касаткин А.Г. «Основные процессы и аппараты химической технологии»: Издательство: «М: Химия» 1971г. -784с.

- 12 Семакина О.К. Машины и аппараты химических производств. Ч.I. Учеб. пособие / Том. политехн. ун-т. – Томск, 2003. – 118с.
- 13 Выпускная квалификационная работа: Методические указания для студентов специальности 170500 «Машины и аппараты химических производств» ИДО /Сост. В.М.Беляев, Н.С.Шваб. -Томск; Изд. ТПУ,2002.-30с.
- 14 Полоцкий Л.М. «Автоматизация химических производств» Издательство: «М: Химия» 1982г. -230с.
- 15 Семакина О.К. «Монтаж, эксплуатация и ремонт оборудования отрасли» 2007г.
- 16 Арустамов Э. А. Безопасность жизнедеятельности. – М.: Высш. шк. 2001г. -678с.
- 17 Субботина Л. Г. Организация, планирование и управление предприятием химической промышленности. - Томск. 1987,-38 с.
- 18 Субботина Л.Г. Анализ экономической эффективности инвестиционного проекта. – Северск, 2002г. -11с.
- 19 Теплообменное оборудование для нефтегазовой промышленности.
- 20 Гост 28759.3-90 Фланцы сосудов и аппаратов стальные приварные встык. ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ СССР ПО УПРАВЛЕНИЮ КАЧЕСТВОМ ПРОДУКЦИИ И СТАНДАРТАМ.
- 21 ГОСТ Р 52857.7-2007. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Теплообменные аппараты. – М.: Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии, 2008.
- 22 ГОСТ 15118-79 «Аппараты теплообменные кожухотрубчатые с неподвижными трубными решетками и кожухотрубчатые с температурным компенсатором на кожухе». - Москва 13 стр.

- 23 ГОСТ Р 52857.5-2007. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Расчет обечаек и днищ от воздействия опорных нагрузок. – М.: Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии, 2008.
- 24 ОСТ 26-2005-83*. Люки с фланцами, приварными встык, с уплотнительной поверхностью "выступ-впадина" стальных сварных сосудов и аппаратов. Конструкция Министерство химического и нефтяного машиностроения СССР от 1983-05-23.
- 25 ОПОРЫ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ СОСУДОВ И АППАРАТОВ. Конструкция ОСТ 26-2091-93.
- 26 Примеры расчета такелажной оснастки. В. В. Матвеев, Н. Ф. Крупин.