

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

---

Институт Электронного обучения  
Специальность Машины и аппараты химических производств  
Кафедра Общей химии и химической технологии

**ДИПЛОМНЫЙ ПРОЕКТ/РАБОТА**

Тема работы
<b>Разработка основного оборудования установки деэтанализации стабилизации конденсата</b> УДК 66.048.914.2:66.045.1:66.048.3

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5001	Срывков Владимир Сергеевич		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Семакина О.К.	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.		

По разделу «Социальная ответственность»

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

По разделу «Механо-технологический раздел»

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

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

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

Томск – 2016 г.

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

Институт Электронного образования  
 Направление подготовки (специальность) Машины аппараты химического производства  
 Кафедра Общая химия химическая технология

УТВЕРЖДАЮ:  
 И.О.Зав. кафедрой

\_\_\_\_\_  
 (Подпись)      (Дата)      (Ф.И.О.)

**ЗАДАНИЕ**  
**на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

Дипломного проекта.

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

Студенту:

Группа	ФИО
3-5001	Срывков Владимир Сергеевич

Тема работы:

Разработка основного оборудования установка деэтанализации стабилизации конденсата

Утверждена приказом директора (дата, номер)

25.04.2016 г., 3107/С

Срок сдачи студентом выполненной работы:

01.06.2016г.

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<p><b>Исходные данные к работе</b>  <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<p><b>Материалы преддипломной практики</b></p>
<p><b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b>  <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Введение;</li> <li>- Описание технологической схемы;</li> <li>- Технологический расчет колонны;</li> <li>- Конструктивный расчет колонны;</li> <li>- Гидравлический расчет колонны;</li> <li>- Механический расчет колонны;</li> <li>- Технологический расчет теплообменника;</li> <li>- Конструктивный расчет теплообменника;</li> <li>- Механический расчет теплообменника;</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Механический расчет буферной емкости;</li> <li>- Социальная ответственность</li> <li>- Техничко-экономические показатели.</li> </ul>
<b>Перечень графического материала</b> <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	<b>1 лист технологическая схемы, лист 2-3 общий вид и выносные элементы колонны, лист 4-5 общий вид и выносные элементы теплообменника лист 6-7 общий вид и выносные элементы буферной емкости, лист 8 монтаж колонны, лист 9 технико экономический показатель.</b>
<b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b> <i>(с указанием разделов)</i>	
Раздел	Консультант
<b>Экономический</b>	<b>Рыжакина Т.Г.</b>
<b>Социальный</b>	<b>Антоневич О.А.</b>
<b>Монтаж оборудования</b>	<b>Семакина О.К.</b>
<b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</b>	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	02.02.2016
--	------------

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Семакина О.К.	к.т.н.		02.02.2016

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5001	Срывков Владимир Сергеевич		02.02.2016

## «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
3-5001	Срывков Владимир Сергеевич

<b>Институт</b>	<b>ИнЭО</b>	<b>Кафедра</b>	<b>ОХХТ</b>
Уровень образования	Инженер	Направление/специальность	МАХП

### Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	УДСК. Установка предназначена для переработки газового конденсата с получением углеводородных газов.
--	--

### Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<p><b>1. Производственная безопасность</b></p> <p>1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой;</li> <li>– действие фактора на организм человека;</li> <li>– приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ);</li> <li>– предлагаемые средства защиты;</li> <li>– (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства).</li> </ul> <p>1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– механические опасности (источники, средства защиты);</li> <li>– термические опасности (источники, средства защиты);</li> <li>– электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты);</li> <li>– пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения).</li> </ul>	<p>1.1 повышенный уровень шума (ГОСТ 12.1.003-83) и вибрации (ГОСТ 12.1.012-78). повышенная или пониженная температура воздуха (ГОСТ 12.1.005-88).</p> <p>1.2 –электробезопасность – статическое электричество (специальная одежда антиэлектростатическая; средства защиты рук антиэлектростатическая; специальная обувь антиэлектростатическая; предохранительные приспособления антиэлектростатические (браслеты и кольца));</p> <p>Взрывопожароопасные, токсические свойства сырья, готовой продукции и отходов производства (средства защиты рукавицы или голицы с кислотной пропиткой; для головы-каска защитные; для защиты органов-противогазы и респираторы).</p>
<p><b>2. Экологическая безопасность:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– защита селитебной зоны</li> <li>– анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы);</li> <li>– анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы);</li> <li>– анализ воздействия объекта на литосферу (отходы);</li> <li>– разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды.</li> </ul>	<p>2. Анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы): основным источником загрязнения атмосферы являются продукты сгорания газа – оксиды азота и углерода.</p> <p>Анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы): загрязнение в процессе освоения месторождений, транспортировки газа судами, загрязняют пластиковые воды, выделяемые из газа.</p> <p>Анализ воздействия объекта на литосферу</p>

	<p>(отходы): углеводородный конденсат загрязняет почвенный слой, почва загрязняется метанолом в процессе добычи и транспорта газа.</p> <p>Основные пути защиты – это создание технологических процессов, исключающих выбросы в атмосферу, разработка эффективных методов очистки газов от вредных примесей, создание санитарно-защитных зон и научно обоснованное размещение предприятий.</p>
<p><b>3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– перечень возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения;</li> <li>– выбор наиболее типичной ЧС;</li> <li>– разработка превентивных мер по предупреждению ЧС;</li> <li>– разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий.</li> </ul>	<p>3.- Пожары, взрывы, угроза взрывов;</p> <p>-Основными причинами, способными привести к аварии, являются следующие факторы: -отступление от норм установленного технологического режима эксплуатации; -разгерметизация аппаратов, оборудования, трубопроводов, фланцевых соединений и сальниковых уплотнений трубопроводов; неисправность средств сигнализации и блокировки технологического процесса; -по причине некачественного монтажа оборудования; -в результате коррозии оборудования; -в результате прогара труб; -несоблюдение инструкций по промышленной безопасности и противопожарных правил.</p> <p>- При обнаружении выше перечисленных дефектов произвести устранение неисправностей после останова оборудования и отключения трубопроводов, работающих под давлением[18]. Для предотвращения на производстве ЧС техногенного характера предусмотрено: периодическое техническое обслуживание и ремонт оборудования; - автоматизированный контроль за производственным процессом; -установка современных систем защиты оборудования (предупредительная и аварийная сигнализации); -система оповещения; -молниезащита оборудования; -дежурная аварийная техника (расчистка подъездных дорог и территории в случае сильных снегопадов)[27].</p>
<p><b>4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства;</li> <li>– организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.</li> </ul>	<p>-Согласно статье 224 ТК РФ работодатель обязан соблюдать ограничения на привлечение отдельных категорий работников к выполнению тяжелых работ, работ во вредных и (или) опасных условиях [28].</p> <p>-При проектировании объектов необходимо руководствоваться</p>

	<p><i>"Перечнем технологического оборудования нефтедобывающей и газовой промышленности, рекомендуемым для установки на открытых площадках" [29]. ВНТП 01-81</i></p> <p><i>"Нормы технологического проектирования объектов газодобывающего предприятия и станции подземного хранения газа"</i></p>
--	---

<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	.
---	---

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Антоневич Ольга Алексеевна	к.б.н		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5001	Срывков Владимир Сергеевич		

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

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
3-5001	Срывков Владимир Сергеевич

<b>Институт</b>	<b>Электронного обучения</b>	<b>Кафедра</b>	<b>ОХХТ</b>
Уровень образования	Инженер	Направление/специальность	МАХП

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

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

**Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:**

1. Оценка коммерческого и инновационного потенциала проекта	Проведение предпроектного анализа. Определение целевого рынка и проведение его сегментирования. Выполнение SWOT-анализа проекта
2. Разработка устава научно-технического проекта	Определение целей и ожиданий, требований проекта. Определение заинтересованных сторон и их ожиданий.
3. Планирование процесса управления проектом: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок	Определение производственной мощности. Расчет сырья, материалов, оборудования, фонда оплаты труда. Расчет себестоимости готового продукта. Расчет точки безубыточности.
4. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности	Проведение оценки экономической эффективности установки дезтанизации стабилизации конденсата

**Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):**

1. Расчет точки безубыточности графическим и математическим методами.
2. Расчет технико-экономических показателей
3. Расчёт чистого денежного потока
4. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности проекта

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

**Задание выдал консультант:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Доцент	Рыжакина Татьяна Гавриловна	Кандидат экономических наук		

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
3-5001	Срывков Владимир Сергеевич		

## РЕФЕРАТ

Работа посвящена установке деэтанализации стабилизации конденсата

В дипломном проектной произведен технологический, конструктивный гидравлический и прочностной расчет ректификационной колонны, кожухотрубчатого теплообменника и буферной емкости. Рассмотрены вопросы монтажа колонны.

В разделе «Социальная ответственность» выявлены факторы, влияющие на безопасность и здоровье человека, работающего на установке.

В организационно-экономической части рассмотрены вопросы эффективности и окупаемости работы установки

Ключевые слова: Ректификационная колонна, клапанная тарелка, теплообменник.

Дипломный проект состоит из пояснительной записки, содержащей 163 с., 31 таб., 37 рис., 1 приложение, и 9 листов графического материала формата А1.

## ABSTRACT

The work is dedicated to the installation of gas condensate stabilization. In the graduation project produced technological, structural, hydraulic and strength analysis of a distillation column, shell and tube heat exchanger and buffer tank. Considered are the issues of installation of the column. In the section "Social responsibility" identified factors affecting the safety and health of the person working on the installation. In the organizational-economic part deals with the issues of efficiency and profitability of operation.

Key words: Distillation column, valve plate heat exchanger. The Capstone project consists of the explanatory note containing 163 p., 31 tab., 37 Fig., 1 app, and 9 sheets of graphic material of an A1 format.

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение	11
1.Описание технологической схемы	12
2.Расчет колонны	15
2.1. Технологический расчет колонны	15
2.1.1. Материальный баланс и рабочее флегмовое число	15
2.1.2. Определение скорости пара и диаметр колонны	18
2.1.3. Гидравлический расчет	20
2.1.4. Определение числа тарелок и высоты колонны	22
2.1.5. Тепловой баланс	23
2.2.1 Механический расчет клапанной колонны	27
2.2.2. Расчет толщин стенок	29
2.2.3. Расчет днища и крышки	31
2.2.4. Расчет и подбор штуцеров, укрепления отверстий	32
2.2.5. Подбор и расчет люка-лаза	37
2.2.6. Прочностной расчет фланцевого соединения	38
2.2.7. Расчет на прочность плоской крышки люка-лаза	48
2.2.8.Укрепление отверстий патрубков штуцеров	50
2.2.9.Расчетное укрепление отверстия люка-лаза	51
2.2.10 Расчет клапанной тарелки	50
2.2.11. Расчет веса аппарата	56
2.2.12. Расчет аппарата на ветровую нагрузку	57
2.2.13 Расчетные размеры опорного кольца	63
3. Расчет конденсатора кожухотрубчатого теплообменника	65
3.1.2. Технологический расчет	66
3.1.3. Конструктивный расчет теплообменника	68
3.2.1.Механический расчет теплообменника	70
3.2.2 Расчетное давление	73
3.2.3.Расчет толщины стенки цилиндрической обечайки(кожуха)	74
3.2.4. Определение температурных напряжений в трубах и корпуса	76
3.2.5. Расчет толщин стенки крышки корпуса	78
3.2.6. Укрепление отверстий патрубков штуцеров	81
3.2.7.Подбор стандартного фланцевого соединения кожуха и распределительной камеры	84
3.2.8. Прочностной расчет фланцевого соединения	85
3.2.9.Расчет трубной решетки	95
3.2.10.Расчет веса аппарата	106
4.1. Механический расчет буферной емкости	108
4.2. Расчет толщины стенки	110
4.3.Расчет толщины стенки крышки корпуса	111
4.4. Укрепления отверстий патрубков штуцеров	113
4.5. Расчет веса аппарата	118
5 Монтаж	120
6. Система автоматизации	123
7. Социальная ответственность	125
8. Техничко-Экономический показатель	138
9.Литерату	155

## ВВЕДЕНИЕ

Одна из основных направлений интенсификации подъема Российской экономики является химизация ее отраслей, обеспечивающая снижение материальных затрат в производстве промышленной и сельскохозяйственной продукции. Основные отрасли промышленности, обеспечивающие химизацию отраслей экономики: химическая, нефтехимическая и нефтеперерабатывающая, нефтяная и газовая, целлюлозно-бумажная и микробиологическая; материальной базой развития этих отраслей промышленности является химическое и нефтегазовое машиностроение.

Активное участие в решении этой задачи принимает «Газовая программа Томской области», промышленные объекты которой уже являются производителями ценного сырья для нефтеперерабатывающих и нефтехимических заводов, а также производят его переработку.

В данной работе описана установка деэтанализации стабилизации газового конденсата (УДСК), которая проектировалась для Мыльджинского и Северо-Васюганского газоконденсатных месторождений. На установке газовый конденсат проходит подготовку перед транспортированием по двух — колонной схеме (деэтанализация и дебутанизация).

Автором разработана одноколонная схема работы установки при выводе оборудования второй ступени ректификации в ремонт, посчитан экономический эффект. Также представлены технологический и механический расчеты деэтанализатора, теплообменника, емкости и схема его монтажа.

## 1. ОПИСАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СХЕМЫ

Технологическая схема установки деэтанализации стабилизации конденсата (УДСК) представлена в приложение 1.

Нестабильный конденсат из разделителей жидкости с установки низкотемпературной сепарации, по трубопроводу с температурой  $+15 - 30$  °С и под давлением  $2,3 - 2,4$  МПа поступает на площадку переключающей арматуры УДСК. Нестабильный конденсат с площадки переключающей арматуры, подается в буферную емкость, Е – 1/1 и 1/2 Буферная емкость служит для сглаживания неравномерности подачи сырья на установку, обеспечивает стабильный режим процесса ректификации на тарелках колонны деэтанализации К-1. В емкостях происходит разделение поступающего сырья на три фазы: газы дегазации, метанольную воду и нестабильный конденсат. Газы дегазации из Е-1/1,2 направляются на эжекторы в УНТС. Метанольная вода отстаивается в отсеках Е-1/1,2, отделённых от основного конденсата перегородкой.

Нестабильный конденсат из рабочей емкости Е-1/1,2 с температурой  $+15, + 30$  °С и давлением  $2,3 \div 2,4$  МПа в постоянном количестве, подаётся в трубное пространство теплообменников Т-1/1,2, соединённых последовательно параллельно. Часть конденсата, 2-й поток, направляется, минуя теплообменники, с температурой  $+20 + 25$  °С, наверх колонны К-1 в качестве острого орошения.

Нестабильный конденсат в Т-1/1,2 нагревается до  $+80... +100$  °С обратным потоком стабильного конденсата проходящего по межтрубному пространству теплообменников. Нагретый в Т-1/1,2 нестабильный конденсат подаётся в колонну деэтанализации К-1 с давлением  $2,0 - 2,2$  МПа и температурой  $+80... +100$  на одну из тарелок питания №№10,12 или 14 в зависимости от содержания лёгких углеводов в сырье. Таким образом, выбор тарелки питания происходит исходя из плотности конденсата: чем ниже плотность, тем выше тарелка питания. В деэтанализаторе К-1 осуществляется процесс ректификации за счёт массообмена и теплообмена на клапанных тарелках, т.е. разделение многокомпонентной смеси на высококипящие и легкокипящие составляющие. В результате чего легкокипящие компоненты поднимаются наверх колонны, а высококипящие переливаются через сливные желоба на тарелках в кубовую часть колонны. Температура верха колонны К-1 поддерживается в пределах  $24 \div 30$  °С за счёт холодного орошения подаваемого на 27 тарелку. В качестве холодного орошения

используется часть нестабильного конденсата, температурой +15...+30°C, поступающего из Е-1/1,2.

Колонна К-1 — вертикальный цилиндрический аппарат диаметром 1200мм и высотой 26204мм. В колонне установлено 26 клапанных тарелок и одна полуглухая тарелка, отделяющая кубовую часть колонны от массообменной части, с переливным желобом под слой жидкости в приёмной камере куба колонны.

Необходимое тепло для проведения процесса ректификации в деэтанализаторе подводится циркулирующей кубовой жидкостью через трубчатую двух поточную печь П-1/1 насосами Н-1/1,2. Циркуляция части кубовой жидкости колонны К-1 через П-1/1 осуществляется следующим образом: Жидкая фаза из приёмной камеры куба колонны с температурой 90-120°C и давлением 2,0-2,2 МПа направляется на приём насосов Н-1/1. Расход циркулирующей через печь П-1/1 кубовой жидкости К-1. Из блока насосов Н-1/1,2 циркуляционный конденсат подаётся в двух поточную трубчатую печь П-1/1, где нагревается до 127-140°C, частично испаряется и возвращается под нижнюю тарелку колонны К-1 в виде парожидкостной смеси

Парожидкостная смесь из печи П-1/1 объединяется в один поток и под давлением 2,2–2,4 МПа подаётся в приёмный карман кубовой части колонны К-1. Испаряющиеся легкокипящие углеводороды поднимаются вверх через отверстия полуглухой тарелки, и подводят необходимое тепло жидкой фазе, находящейся над тарелкой, для поддержания процесса ректификации в колонне. Высококипящие углеводороды с первой тарелки по сливному коробу переливаются под слой жидкости находящейся в приёмной камере, подводя дополнительное тепло в низ куба колонны.

Жидкая фаза из приёмного кармана перетекает через кромку также в куб колонны и подводит дополнительное тепло в слой кипящей жидкости. Кромка приёмного кармана расположена ниже кромки камеры отбора деэтанализированного конденсата, чем обеспечивается постоянный уровень жидкости в приёмной камере куба колонны и непрерывная подача циркулирующей жидкости на приём насосов Н-1/1,2.

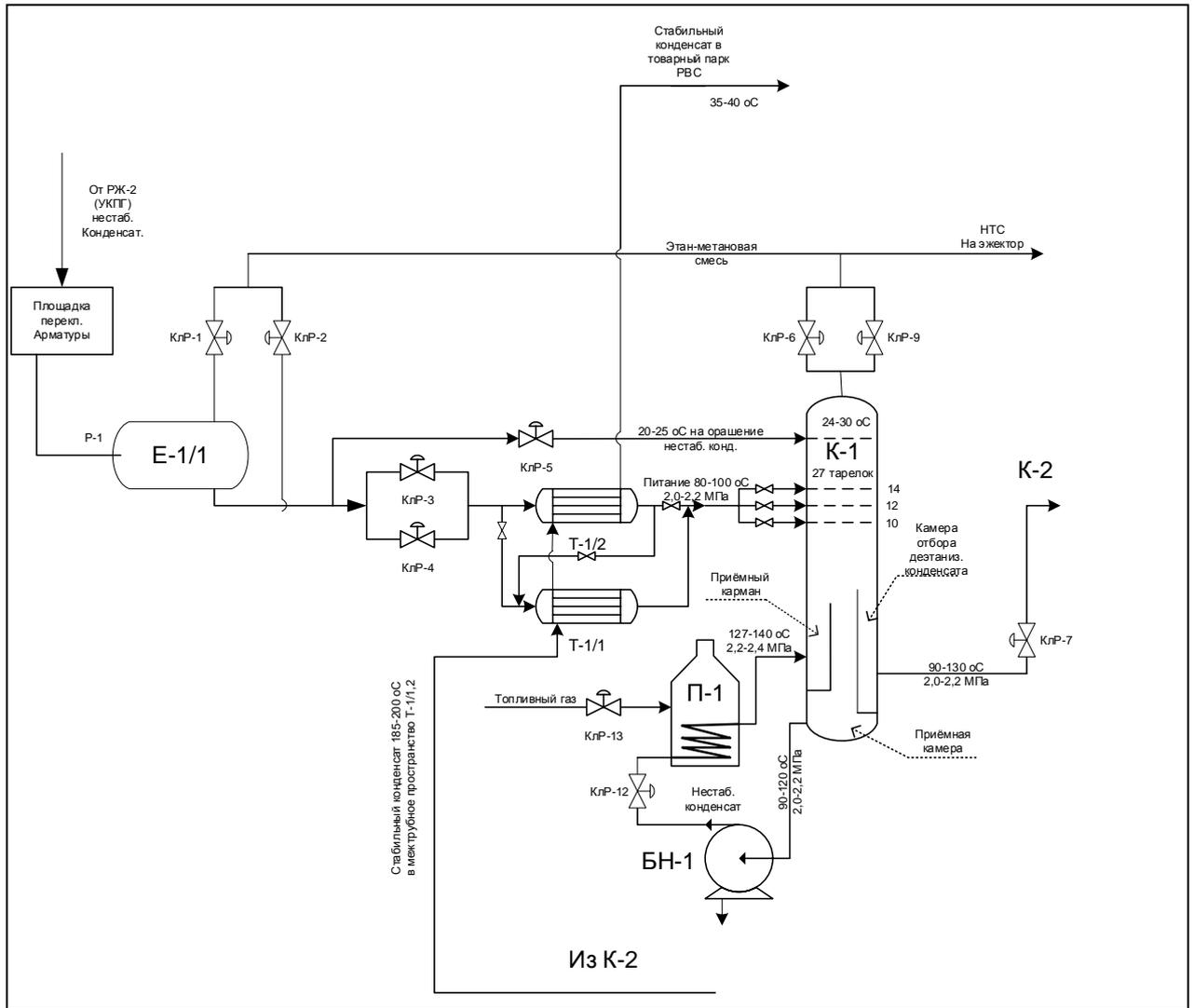
Стабильный конденсат из камеры отбора куба колонны стабилизации К-2 с температурой 185-200°C и давлением 1,4-1,6 МПа направляется через межтрубное пространство теплообменников Т-1/1,2, где охлаждается до 100-120°C.

Теплообменники Т-1/1,2 по обратному потоку обвязаны так, что в зависимости от требуемого нагрева прямого потока (нестабильного конденсата) могут подключаться либо последовательно, либо параллельно.

Стабильный конденсат после охлаждения направляется в резервуарный парк, как товарный продукт.

Таким образом, газ деэтанализации с верха колонны К-1 попадает на эжектирование установки НТС и закачивается в газопровод.

### Приложение 1



## 2.1. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ

### 2.1.1 МАТЕРИАЛЬНЫЙ БАЛАНС И РАБОЧЕЕ ФЛЕГМОВОЕ ЧИСЛО

Производительность колонны по дистилляту  $P$  и кубовому остатку  $W$  определим из уравнения материального баланса колонны.

Материальный баланс:

- Расход исходной смеси —  $25061 \text{ кг/ч}$

Состав исходной смеси:

- Этан ( $\text{C}_2\text{H}_6$ ) — 11.0 %(массы)
- Гексан ( $\text{C}_6\text{H}_{12}$ ) — 89.0 %(массы)
- Расход дистиллята —  $1950 \text{ кг/ч}$
- $\rho = 1.36 \text{ кг/м}^3 \text{ Гр} = 1434 \text{ м}^3/\text{ч}$

Состав дистиллята:

- Этан — 88.79 %(массы)
- Гексан — 11.21 %(массы)
- Расход кубового остатка —  $23111 \text{ кг/м}^3$

Состав куба:

- Этан — 0.2%(массы)
- Гексан — 99.8 %(массы)

Для дальнейших расчетов выразим концентрации питания, дистиллята и кубового остатка в мольных долях. Питание:

$$X_F = \frac{\frac{\overline{X}_F}{M_{\text{Э}}}}{\frac{\overline{X}_F}{M_{\text{Э}}} + \frac{100 - \overline{X}_F}{M_{\text{Г}}}} = \frac{\frac{11.0}{30.01}}{\frac{11.0}{30.01} + \frac{100 - 11.0}{86.17}} = 0.32;$$

Дистиллят:

$$X_P = \frac{\frac{\overline{X}_P}{M_{\text{Э}}}}{\frac{\overline{X}_P}{M_{\text{Э}}} + \frac{100 - \overline{X}_P}{M_{\text{Г}}}} = \frac{\frac{88.79}{30.01}}{\frac{88.79}{30.01} + \frac{100 - 88.79}{86.17}} = 0.98;$$

Кубовый остаток:

$$X_w = \frac{\frac{\overline{X_w}}{M_э}}{\frac{\overline{X_w}}{M_э} + \frac{100 - \overline{X_w}}{M_г}} = \frac{\frac{0.2}{30.01}}{\frac{0.2}{30.01} + \frac{100 - 0.2}{86.17}} = 0.02;$$

Относительный мольный расход питания:

$$F = \frac{X_P - X_w}{X_F - X_w} = \frac{0.98 - 0.02}{0.32 - 0.02} = 3.2;$$

Таблица 2.1.1

$t, ^\circ\text{C}$	$P_э, \text{кгс}/\text{см}^2$	$P_г, \text{кгс}/\text{см}^2$	$x = \frac{\Pi - P_г}{P_э - P_г}$	$y^* = \frac{P_э}{\Pi} * x$
10	26	3.4	1	1
20	29.7	3.9	0.857	0.950
30	36.02	5.1	0.681	0.866
40	41.06	7.2	0.580	0.801
50	46.81	9.4	0.490	0.722
60	52.72	11.6	0.366	0.625
70	59.19	14.1	0.275	0.525
80	66.84	16.7	0.194	0.403
90	74.23	19.6	0.118	0.279
100	82.67	22.7	0.066	0.168
110	91.13	26	0	0

Определим минимальное число флегмы по уравнению:

$$R_{\min} = \frac{X_P - y_F^*}{y_F^* - X_F} = \frac{0.98 - 0.55}{0.55 - 0.32} = 1.47; \text{ где}$$

$y_P = 0.55$  — мольную долю этана в паре, равновесном с жидкостью питания, определяем по диаграмме  $y^* = x$  по рисунку №2.1.1

Рабочее число флегмы определим по уравнению:

$$R = 1.3 * R_{\min} + 0.3 = 1.3 * 1.47 + 0.3 = 2.21;$$

$$B = \frac{X_P}{R+1} = \frac{0.98}{2.21+1} = 0.31;$$

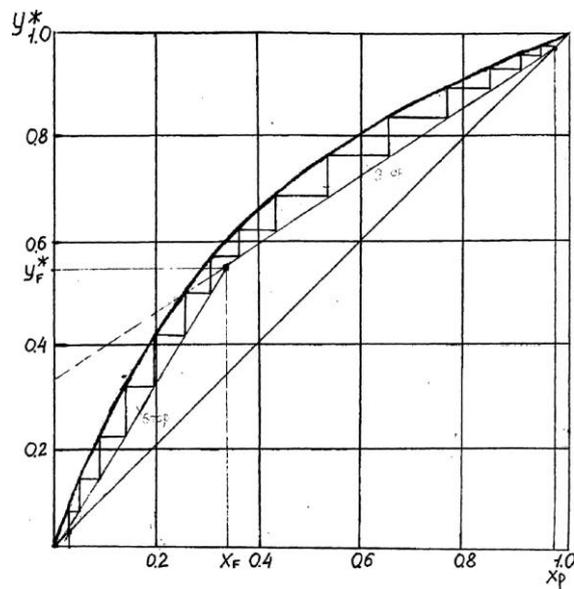


Рисунок 3.1

Рисунок 2.1

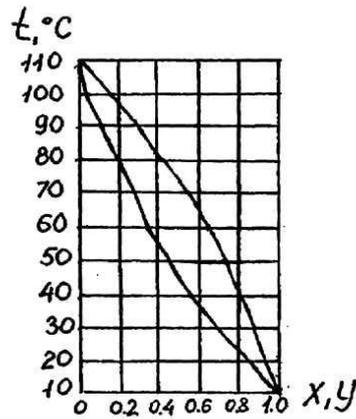


Рисунок 3.2

Уравнения рабочих линий:

верхней (укрепляющей) части колонны:

$$y = \frac{R}{R+1} * x = \frac{1.327}{1.327+1} * x;$$

$y = 0,68 * x + 0,31$  нижней (исчерпывающей) части колонны^

$$y = \frac{R+F}{R+1} * x - \frac{F-1}{R+1} * X_w = \frac{2.21+3.2}{2.21+1} * x - \frac{3.2-1}{2.21+1} * 0.02$$

$$y = 1.86 * x - 0.077$$

### 2.1.2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТИ ПАРА И ДИАМЕТРА КОЛОННЫ

Средние концентрации жидкости: в верхней части колонны

$$X'_{CP} = \frac{(X_F + X_P)}{2} = \frac{(0.98 + 0.32)}{2} = 0.65;$$

В нижней части колонны

$$X''_{CP} = \frac{(X_F + X_W)}{2} = \frac{(0.358 + 0.0005)}{2} = 0.179;$$

Средние концентрации пара находим по уравнениям рабочих линий : в верхней части колонны

$$Y'_{CP} = 0.68 * X'_{CP} + 0.31 = 0.68 * 0.65 + 0.31 = 0.752$$

В нижней части колонны

$$Y''_{CP} = 1.86 * X''_{CP} - 0.077 = 1.86 * 0.17 - 0.077 = 0.239;$$

Средние температуры пара определяем по диаграмме  $t$ - $x$ ,  $y$  (рисунок № 2.1.2):

при  $Y'_{CP} = 0.752$ ;  $t'_{CP} = 52^\circ \text{C}$

при  $Y''_{CP} = 0.239$ ;  $t''_{CP} = 93^\circ \text{C}$

Средние молярные массы пара

$$M'_{CP} = Y'_{CP} * M_{Э} + (1 - Y'_{CP}) * M_{Г} = 0.752 * 30.01 + (1 - 0.752) * 86.17 = 43.94 \text{ кг/моль}$$

$$M''_{CP} = Y''_{CP} * M_{Э} + (1 - Y''_{CP}) * M_{Г} = 0.239 * 30.01 + (1 - 0.239) * 86.17 = 72.74 \text{ кг/моль}$$

Средние плотности пара:

$$\rho_{CP} = \frac{M_{CP} * T_0 * P}{22.4 * T * P_0}$$

Где:  $T$  — средняя температура пара,  $K$ ;  $P$  - давление в колонне,  $Pa$ ;  $T_0 = 273K$ ;

$P_0 = 1.033 * 10^5 Pa$ ;

В верхней части колонны:

$$\rho'_{CP} = \frac{43.94 * 273 * 2.6 * 10^6}{22.4 * 325 * 1.033 * 10^5} = 41.47 \text{ кг/м}^3$$

В нижней части колонны:

$$\rho''_{CP} = \frac{72.74 * 273 * 2.6 * 10^6}{22.4 * 366 * 1.033 * 10^5} = 60.96 \text{ кг/м}^3$$

Средняя плотность пара в колонне:

$$\rho_{\Pi} = \frac{\rho'_{CP} + \rho''_{CP}}{2} = \frac{41.47 + 60.96}{2} = 51.21 \text{ кг/м}^3$$

Температура в верху колонны при  $X_p = 0.824$  равняется  $16^\circ\text{C}$ , а в кубе при  $X_w = 0.02$  равняется  $\approx 108^\circ\text{C}$  (по диаграмме  $t - x, y$  рисунок № 2.1.2). Плотность жидкого этана при  $16^\circ\text{C}$   $\rho_{C3} = 430 \text{ кг/м}^3$ , жидкого гексана при  $108^\circ\text{C}$   $\rho_{C4} = 570 \text{ кг/м}^3$ .

Принимаем среднюю плотность жидкости:

$$\rho_{ж} = \frac{460 + 540}{2} = 500 \text{ кг/м}^3;$$

Определим скорость пара в колонне по уравнению:

$$\omega = c * \sqrt{\frac{\rho_{ж}}{\rho_{\Pi}}} = 0.082 * \sqrt{\frac{500}{51.21}} = 0.25 \text{ м/с};$$

По справочнику принимаем расстояние между тарелками  $h = 700 \text{ мм}$ , коэффициент  $c = 0.082$

Объемный расход проходящего через колонну пара при средней температуре в колонне:

$$t_{CP} = \frac{52 + 93}{2} = 72^\circ\text{C}$$

$$V = \frac{G_p * (R+1) * 22.4 * T_{CP} * P_0}{M_p * T_0 * 3600 * P} = \frac{1950 * (2.21+1) * 22.4 * 345 * 1.033}{31.13 * 273 * 3600 * 2.6} = 0.326 \text{ м}^3/\text{с};$$

где  $M_p$  - мольная масса дистиллята

$$M_p = 0.98 * 30.01 + (1 - 0.98) * 86.17 = 31.13 \text{ кг/кмоль}$$

Диаметр колонны:

$$D = \sqrt{\frac{V}{0.785 * \omega}} = \sqrt{\frac{0.326}{0.785 * 0.25}} = 1.28 \text{ м}$$

По каталогу-справочнику «Колонные аппараты» берем  $D = 1.2 \text{ м}$ . Тогда скорость пара в колонне будет:

$$\omega = \frac{V}{0.785 * D^2} = \frac{0.326}{0.785 * 1.2^2} = 0.29 \text{ м/с}$$

### 2.1.3. ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ

Принимаем следующие размеры клапанной тарелки : диаметр отверстий  $d_3 = 50\text{мм}$ , высота сливной перегородки  $h_n$  —  $60\text{мм}$ , свободное сечение тарелки 8% от общей площади тарелки. Площадь, занимаемая переливными стаканами, составляет 20% от общей площади тарелки. КПД тарелки 0.63. Рассчитываем гидравлическое сопротивление тарелки в верхней и нижней «частях» колонны по уравнению:

$$\Delta P = \Delta P_{\text{сух}} + \Delta P_{\sigma} + \Delta P_{\text{ПЖ}};$$

Верхняя часть колонны. Гидравлическое сопротивление сухой тарелки:

$$\Delta P_{\text{сух}} = \frac{\xi * \omega_0^2 * \rho_{\text{П}}}{2} = \frac{3.6 * 3.62^2 * 51.21}{2} = 667 \text{Па},$$

где  $\xi = 3.6$  — коэффициент сопротивления неоросаемых тарелок;

$$\omega_0 = \frac{\omega}{0.08} = \frac{0.29}{0.08} = 3.62 \text{ м/с} \quad \text{скорость пара в отверстиях тарелок};$$

Определяем сопротивление, обусловленное силами поверхностного натяжения по уравнению:

$$\Delta P_{\sigma} = \frac{4 * \sigma}{d_3} = \frac{4 * 4.2 * 10^{-3}}{0.005} = 3.36 \text{Па},$$

Где  $\sigma = 4.2 * 10^{-3} \text{ Н/м}$  - поверхностное натяжение жидкости при средней температуре

в верхней части колонны  $72^{\circ} \text{C}$ .

Сопротивление парожидкостного слоя на тарелке определяем по уравнению:

$$\Delta P_{\text{ПЖ}} = 1.3 * h_{\text{ПЖ}} * \rho_{\text{ПЖ}} * g * k;$$

Высота парожидкостного слоя:

$$h_{\text{ПЖ}} = h_{\text{П}} + \Delta h;$$

$$\Delta h = \left( \frac{V_{\text{ж}}}{1.85 * \Pi * k} \right)^{2/3},$$

где  $\Delta h$  — высота слоя над сливной перегородкой;

$V_{\text{ж}}$  — объемный расход жидкости,  $\text{м}^3/\text{с}$

$\Pi$  — периметр сливной перегородки,  $\text{м}$

$k = \frac{\rho_{\text{ПЖ}}}{\rho_{\text{ж}}}$  — относительная плотность парожидкостного слоя к плотности жидкости;

$$k = 0.5$$

Определим расход жидкости в верхней части колонны:

$$V_{\text{ж}} = \frac{G_{\text{р}} * R * M_{\text{ср}}}{M_{\text{р}} * \rho_{\text{ж}}} = \frac{1950 * 2.21 * 34.17}{31.13 * 3600 * 500} = 0.0026 \text{ м}^3/\text{с},$$

где  $M_{\text{ср}} = 0.65 * 30.04 + 0.17 * 86.17 = 34.17 \text{ кг}/\text{кмоль}$  — средняя мольная масса жидкости.

Рассчитаем периметр переливных стаканов по формуле:

$$P = 2 * \pi * d_{\text{ст}} = 2 * 3.14 * 0.2 = 1.26$$

$$\Delta h = (0.0026 / 1.85 * 1.26 * 0.5)^{2/3} = 0.005 \text{ м}$$

Высота парожидкостного слоя на тарелке:

$$h_{\text{ПЖ}} = 0.06 + 0.005 = 0.065 \text{ м.}$$

Соппротивление парожидкостного слоя:

$$\Delta P_{\text{ПЖ}} = 1.3 * 0.065 * 250 * 9.81 * 0.5 = 103.6 \text{ Па.}$$

Общее гидравлическое сопротивление тарелки в верхней части колонны:

$$\Delta P' = 667 + 3.36 + 103.6 = 774 \text{ Па.}$$

Расчет проводим аналогично расчету верхней части колонны:

$$M_{\text{ср}} = 0.17 * 30.04 + (1 - 0.17) * 86.17 = 76.62 \text{ кг}/\text{кмоль};$$

$$V_{\text{ж}} = \left( \frac{1950 * 2.21}{31.13} + \frac{25061}{68.21} \right) * \frac{76.62}{3600 * 500} = 0.021 \text{ м}^3/\text{с};$$

$$\Delta h = \left( \frac{0.021}{1.85 * 8.8 * 0.5} \right)^{2/3} = 0.019 \text{ м};$$

$$h_{\text{ПЖ}} = 0.06 + 0.019 = 0.079 \text{ м};$$

$$\Delta P_{\text{ПЖ}} = 1.3 * 0.079 * 0.5 * 250 * 9.81 = 126 \text{ Па};$$

Общее гидравлическое

$h = 0.1 \text{ м}$  необходимое для нормальной работы сопротивление тарелки в нижней части колонны:

Проверим, соблюдается ли при расстоянии между тарелками тарелок условие:

$$\Delta P'' = 869 + 6.96 + 126 = 1002 \text{ Па.}$$

$$h > 1.8 \frac{\Delta P}{\rho_{ж} * g},$$

Для тарелок нижней части колонны, у которых гидравлическое сопротивление  $\Delta P$  больше, чем у тарелок верхней части.

$$\frac{1.8 * \Delta P''}{\rho_{ж} * g} = \frac{1.8 * 1002}{500 * 9.81} = 0.49 \text{ м.}$$

Следовательно, вышеуказанное условие соблюдается.

Проверим равномерность работы тарелок — рассчитаем минимальную скорость пара в отверстиях  $\omega_{0.\min}$  достаточную для того, чтобы тарелка работала всеми клапанами, т.е.

$$\omega_{0.\min} = 0.67 * \sqrt{\frac{g * \rho_{ж} * h_{ПДЖ}}{\xi * \rho_{п}}} = 0.67 * \sqrt{\frac{9.8 * 500 * 0.079}{3.6 * 51.21}} = 1.45 \text{ м/с.}$$

Рассчитанная скорость; следовательно, тарелки будут работать всеми клапанами.

$$\omega_0 = 3.62 \text{ м/с}$$

#### 2.1.4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЧИСЛА ТАРЕЛОК И ВЫСОТЫ КОЛОННЫ

Наносим на диаграмму  $y-x$  (рисунок № 1) рабочие линии верхней и нижней части колонны и находим число ступеней изменения концентраций  $n_T$ . В верхней части колонны  $n_T' = 9$ , в нижней части колонны  $n_T'' = 6$ , всего 15 ступеней. Число тарелок рассчитываем по уравнению.

$$n = n_T / \eta$$

Для определения среднего КПД тарелок  $\eta$  находим коэффициент относительной летучести разделяемых компонентов,  $\alpha = \frac{P_{п}}{P_{б}}$  и динамический коэффициент вязкости исходной смеси  $\mu$  при средней температуре в колонне, равной  $72^\circ \text{C}$ . При этой температуре давление насыщенного пара этан.

$$P_3 = 59.19 \text{ кгс/см}^2$$

$$\text{Отсюда } \alpha = 59.19 / 14.1 = 4.19$$

Динамический коэффициент вязкости этана при 72 °С равен 0.49 сП, гексана 0.45 сП.

Принимаем динамический коэффициент вязкости исходной смеси:

$$\mu = 0.44 \text{ сП} = 0.44 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с}$$

$$\text{Тогда } \alpha \cdot \mu = 4.19 \cdot 0.44 = 1.84$$

По графику [1] находим  $\eta = 0.63$

Тогда число тарелок: в верхней части колонны:

$$n_1 = n_{1T} / \eta = 9 / 0.63 = 15$$

В нижней части колонны:

$$n_2 = n_{2T} / \eta = 6 / 0.63 = 10$$

Общее число тарелок  $n = 25$ , с запасом  $n = 27$ , из них в верхней части колонны 15 и в нижней части 10.

Высота тарельчатой части колонны:

$$H_T = (n-1) \cdot h = (27-1) \cdot 0.7 = 17.4 \text{ м}$$

Общее гидравлическое сопротивление тарелок:

$$\Delta P = \Delta P^1 \cdot n_B + \Delta P^2 \cdot n_H = 774 \cdot 15 + 1002 \cdot 10 = 19854 \text{ Па}, = 0.20 \text{ кгс} / \text{см}^2$$

### 2.1.5. ТЕПЛОВОЙ БАЛАНС

По фазовой диаграмме находим температуру кипения исходной смеси [2]:

$$t_F = 28.5 \text{ }^\circ\text{C} \quad (X_F = 0.11),$$

Температура кипения дистиллята:

$$t_D = 10.2 \text{ }^\circ\text{C} \quad (X_D = 0.8879).$$

Температура кипения остатка:

$$t_W = 120 \text{ }^\circ\text{C} \quad (X_W = 0.002).$$

Находим количество тепла, вносимое начальной смесью:

$$Q_1 = G_F \cdot C_F \cdot t_F = G_F \cdot \left( C_3 \cdot \frac{X_F}{100} + C_T \cdot \frac{100 - X_F}{100} \right) \cdot t_F$$

где  $Q_1$  — количество тепла, вносимое начальной смесью, кДж/ч;

$G_F$  — количество исходной смеси, кг/ч;

$C_3$  — удельная теплоемкость этана, кДж/(кгК);

$X_F$  — содержание пропилена в исходной смеси, % мас;

$C_r$  — удельная теплоемкость гексана, кДж/(кг К);

$t_f$  — температура кипения исходной смеси, °С.

$$Q_1 = 25026 * (1.73 * 0.11 + 2.3 * (1 - 0.11)) * 28.5 = 1427762 \text{ кДж/ч}$$

Количество тепла, вносимое в колонну греющим паром:

$$Q_2 = D * (i_n - i_k)$$

где  $Q_2$  — количество тепла, вносимое в колонну греющим паром, кДж/ч;

$D$  — расход греющего пара, кг/ч

$i_n$  — энтальпия водяного пара при атмосферном давлении, кДж/кг;

$i_k$  — энтальпия водяного конденсата при атмосферном давлении, кДж/кг

Тепло, вносимое флегмой:

$$Q_3 = G_D * R * C_D * t_D = G_D * R * \left( C_{\text{пропилена}} \frac{X_D}{100} + C_{\text{пропана}} \frac{100 - X_D}{100} \right) * t_D,$$

где  $Q_3$  — тепло, вносимое флегмой, кДж/ч;

$G_D$  — количество дистиллята, кг/ч;

$R$  — рабочее флегмовое число;

$C_D$  — удельная теплоемкость дистиллята, кДж/(кг\*К);

$t_0$  — температура кипения дистиллята, °С;

$C_э$  — удельная теплоемкость этана, кДж/(кг\*К);

$X_D$  — содержание этана в дистилляте, % мас;

$C_r$  — удельная теплоемкость гексана, кДж/(кг\*К)

$$Q_3 = 1950 * 2.21 * (1.73 * 0.1121 + 0.414 * 0.8879) * 102 = 98143 \text{ кДж/ч}$$

Тепло, уносимое парами, поднимающимися с верхней тарелки в дефлегматор находим по уравнению:

$$Q_4 = G_D * (1 + R) * \left[ \left( r_э * \frac{X_D}{100} + r_r * \frac{100 - X_D}{100} \right) + \left( C_э * \frac{X_D}{100} + C_r * \frac{100 - X_D}{100} \right) * t_D \right]$$

где  $Q_4$  — тепло, уносимое парами, поднимающимися с верхней тарелки в дефлегматор, кДж/ч;

$G_D$  — количество дистиллята, кг/ч;

R — рабочее флегмовое число;

$r_3$  — теплота парообразования этана, кДж/кг;

$X_D$  — содержание этана в дистилляте, % мас;

$r_r$  — теплота парообразования гексана, кДж/кг;

$C_3$  — удельная теплоемкость этана, кДж/кг \*град;

$C_r$  — удельная теплоемкость гексана, кДж/ кг \*град;

$t_D$  — температура кипения дистиллята, °С.

$$Q_4 = 1950 \cdot (2.21 + 1) \cdot [(301.2 \cdot 0.1121 + 380 \cdot 0.8879) + (1.73 \cdot 0.1121 + 2.3 \cdot 0.8879) \cdot 102] = 2463282 \text{ кДж/ч.}$$

Тепло, уносимое с кубовым остатком:

$$Q_5 = G_W \cdot \left( C_3 \cdot \frac{X_W}{100} + C_r \cdot \frac{100 - X_W}{100} \right) \cdot t_W,$$

где  $Q_5$  — количество тепла, уносимое с кубовым остатком, кДж/ч;

$G_W$  — количество кубового остатка, кг/ч;

$C_3$  — удельная теплоемкость этана, кДж/кг \*град;

$X_W$  — содержание этана в кубовом остатке, % мас;

$C_r$  — удельная теплоемкость гексана, кДж/ кг\*град;

$t_W$  — температура кипения кубового остатка, °С.

$$Q_5 = 23076 \cdot (2.1 \cdot 1.0 + 0.422) \cdot 120 = 5815152 \text{ кДж/ч.}$$

Уравнение теплового баланса для колонны записывается следующим образом

$$Q_2 = D \cdot (i_n - i_k) = -Q_1 - Q_3 + Q_4 + Q_5,$$

где  $Q_2$  — количество тепла, вносимое в колонну греющим паром, кДж/ч;

$D$  — расход греющего пара, кг/ч;

$i_n$  — энтальпия водяного пара при атмосферном давлении, кДж/кг;

$i_k$  — энтальпия водяного конденсата при атмосферном давлении, кДж/кг;

$Q_1$  — количество тепла, вносимое в колонну начальной смесью, кДж/ч;

$Q_3$  — количество тепла, вносимое в колонну флегмой, кДж/ч;

$Q_4$  — количество тепла, уносимое парами, поднимающимися с верхней тарелки в дефлегматор, кДж/ч;

$Q_5$  — количество тепла, уносимое с кубовым остатком, кДж/ч;

Расход греющего пара с учетом 5% потерь в окружающую среду получим из уравнения теплового баланса:

$$D = \frac{1,05 \cdot (Q_4 + Q_5 - Q_1 - Q_3)}{i_{\text{п}} - i_{\text{к}}},$$

$$D = \frac{1,05 \cdot (2463282 + 5815152 - 1427762 - 98143)}{2782 - 716} =$$

3432 кг/ч.

## 2.2.1 Механический расчет клапанной колонны

### Исходные данные:

Рабочее давление в колонне:

$$P := 2.2 \text{ МПа}$$

Расчетная температура:  $^{\circ}\text{C}$

$$t_{\text{раб}} := 150$$

Внутренний диаметр верха аппарата:

$$D_1 := 1200 \quad \text{мм}$$

Высота аппарата:

$$H := 26.550$$

Материал аппарата сталь 09Г2С

Сталь 09г2с относится к низколегированным сталям, общее количество легирующих добавок в которых не превышает 2,5% (в отличие от высоколегированных, где этот показатель - свыше 10%). Заменить сталь 09г2с можно следующими марками: 09г2, 09г2дт, 09г2т, 10г2с, а также 19Мн-6.

Таблица 2.2.1 - Химический состав в % материала 09Г2С ГОСТ 19281 - 89

C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	N	Cu	As
до 0.12	0.5 - 0.8	1.3 - 1.7	до 0.3	до 0.04	до 0.035	до 0.3	до 0.008	до 0.3	до 0.08

Данный материал выбран из следующих соображений:

Низколегированная сталь 09Г2С обладает повышенной прочностью и ударной вязкостью в интервале температур от  $-40^{\circ}\text{C}$  до  $+475^{\circ}\text{C}$ . Сталь в виде листового проката широко применяется для аппаратуры, работающей под давлением. Данная сталь хорошо деформируется и обрабатывается резанием. Легко сваривается всеми видами сварки.

Основные свойства материала:

Плотность стали 09Г2С:

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

Допускаемое напряжение материала 09Г2С при температуре 20 градусов (температура гидроиспытаний): [3, стр 15]

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

коэффициент запаса по пределу текучести для условий испытаний:

$$n_t := 1.1$$

Поправочный коэффициент  $\eta$ :

$$\eta := 1$$

Допускаемое напряжение для условий испытаний:

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

Согласно [3, стр. 10] определяем допускаемое напряжение материала 09Г2С при температуре 150 °С:

$$\sigma_{д} := \text{Floor} \left[ \text{linterp} \left[ \left( \begin{array}{c} 145 \\ 200 \end{array} \right), \left( \begin{array}{c} 171 \\ 165 \end{array} \right), t_{\text{раб}}, 0.5 \right], 0.5 \right] = 170 \quad \text{МПа}$$

Коэффициент прочности сварных швов (Сварка аппарата полуавтоматическая):  
длина шва 100% (Назначили конструктивно) [3, стр. 24]

$$\varphi := 1$$

*Прибавки к расчетным толщинам конструктивных элементов:*

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

Скорость коррозии материала аппарата определяем от действия заданной среды:

$$П := 0.1 \quad \frac{\text{мм}}{\text{год}}$$

Срок эксплуатации аппарата:

$$\tau := 20 \quad \text{Лет}$$

Прибавка для компенсации коррозии и эрозии:

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

Прибавка для компенсации минусового допуска;

$$c_2 := 0.3 \quad \text{мм}$$

Технологическая прибавка;

$$c_3 := 0.7 \quad \text{мм}$$

Прибавки к расчетным толщинам конструктивных элементов:

$$c := c_1 + c_2 + c_3 = 3 \quad \text{мм}$$

*Расчет давлений необходимых для дальнейшего расчета:*

Гидростатическое давление в аппарате:

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

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

Ускорение свободного падения:

$$g := 9.8 \quad \text{м/с}^2$$

Высота гидравлического столба в аппарате принимаем равной высоте аппарата.

$$H_{\text{гид}} := H = 26.55 \quad \text{м}$$

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

$$P_{\text{гид}} := \frac{g \cdot H_{\text{гид}} \cdot \rho_{\text{вод}}}{10^6} = 0.26 \quad \text{МПа}$$

Расчетное давление в аппарате при рабочих условиях:

$$P_{\text{рас}} := (P + P_{\text{гид}}) = 2.46 \quad \text{МПа}$$

Давление при гидравлических испытаниях:

$$P_{\text{и}} := 1.25 \cdot P_{\text{рас}} \cdot \frac{\sigma_{\text{и20}}}{\sigma_{\text{л}}} = 4.937 \quad \text{МПа}$$

Условное давление:

$$P_{\text{усл}} := P_{\text{рас}} \cdot \frac{\sigma_{\text{и20}}}{\sigma_{\text{д}}} = 3.95 \quad \text{МПа}$$

### 2.2.2. Расчет толщины стенок

Согласно [5], определяем толщины стенок обечайки, днища, крышки, конического перехода проводим проверку на прочность стенок корпуса аппарата

Расчет толщины стенки цилиндрической обечайки :  $D_1 = 1.2 \times 10^3 \text{ мм}$

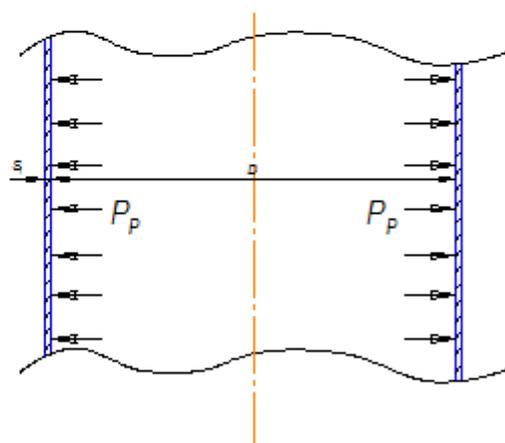


Рисунок 2.2.1 - Расчетная схема обечайки.

Расчетная толщина стенки цилиндрической обечайки при внутреннем избыточном давлении:

$$s_{p1} := \max \left( \left( \frac{P_{\text{рас}} \cdot \frac{D_1}{2 \cdot \varphi \cdot \sigma_{\text{д}}} - P_{\text{рас}}}{P_{\text{и}} \cdot \frac{D_1}{2 \cdot \varphi \cdot \sigma_{\text{и20}}} - P_{\text{и}}} \right) \right) = 10.951 \quad \text{мм}$$

Исполнительная толщина стенки цилиндрической обечайки:

$$s_{и1} := s_{p1} + c = 13.951 \quad \text{мм}$$

Принимаем толщину для колонных аппаратов из ряда стандартных толщин

$$s_1 := 14 \quad \text{мм}$$

Проверка условий применимости формул безмоментной теории [5]:

$$\text{Проверка}_1 := \begin{cases} \text{"Усл. формул теории выполняются"} & \text{if } \frac{s_1 - c}{D_1} \leq 0.1 \\ \text{"Усл. формул НЕ выполняются"} & \text{if } \frac{s_1 - c}{D_1} > 0.1 \end{cases}$$

$$\text{Проверка}_1 = \text{"Усл. формул теории выполняются"}$$

Допускаемое внутреннее избыточное давление при рабочих условиях:

$$P_{д1} := \frac{2 \cdot \sigma_d \cdot \varphi \cdot (s_1 - c)}{D_1 + (s_1 - c)} = 3.088 \quad \text{МПа}$$

Допускаемое внутреннее избыточное давление при гидроиспытаниях:

$$P_{и1} := \frac{2 \cdot \sigma_{и20} \cdot \varphi \cdot (s_1 - c)}{D_1 + (s_1 - c)} = 4.96 \quad \text{МПа}$$

Проверка условия прочности стенок, цилиндрической обечайки от действия внутреннего давления при рабочих условиях: [5]

$$\text{Проверка}_2 := \begin{cases} \text{"Условие прочности стенки выполняется"} & \text{if } P_{д1} > P_{рас} \\ \text{"Условие прочности НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

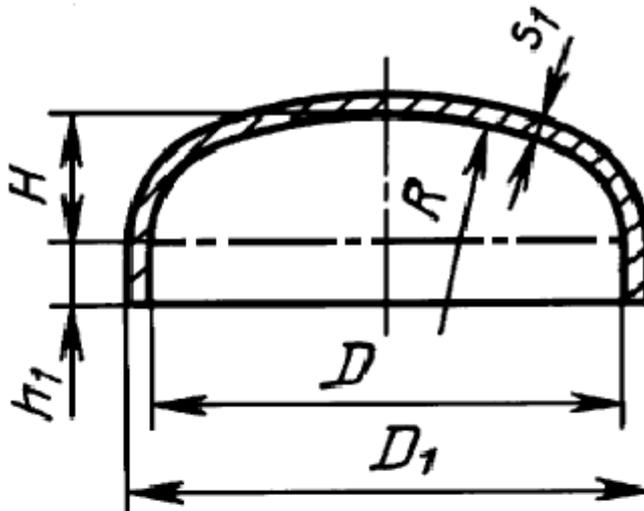
$$\text{Проверка}_2 = \text{"Условие прочности стенки выполняется"}$$

Проверка условия прочности стенок, цилиндрической обечайки от действия внутреннего давления при гидраиспытаниях: [5]

$$\text{Проверка}_3 := \begin{cases} \text{"Условие прочности стенки выполняется"} & \text{if } P_{и1} > P_{и} \\ \text{"Условие прочности НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{Проверка}_3 = \text{"Условие прочности стенки выполняется"}$$

### 2.2.3. Расчет днища и крышки



Рисинук 2.2.2. Крышка эллиптическая

Исполнительную толщину стенки днища

$$S_D := \max \left[ \frac{(P_{и} \cdot D_1)}{2 \cdot \varphi \cdot \sigma_{и20} - 0.5 \cdot P_{и}}, \frac{P_{рас} \cdot D_1}{2 \cdot \varphi \cdot \sigma_{и20} - P_{рас} \cdot 0.5} \right] = 10.901$$

$$S_{D1} := S_D + c = 13.901$$

Принимаем толщину днища и крышки стандартному значению  $S_{R1} := 14$  мм

Допускаемое давление

в рабочем состоянии

$$P_{d1} := \frac{[2 \cdot \varphi \cdot \sigma_D \cdot (S_{D1} - c)]}{D_1 + 0.5 \cdot (S_{D1} - c)} = 3.075 \quad \text{МПа}$$

при испытаниях

$$P_{d1и} := \frac{[2 \cdot \varphi \cdot \sigma_{и20} \cdot (S_{D1} - c)]}{D_1 + 0.5 \cdot (S_{D1} - c)} = 4.937 \quad \text{МПа}$$

Условия применения расчетных формул

$$\text{усл1} := \begin{cases} \text{усл1} \leftarrow \text{"условия выполняются"} & \text{if } \frac{(S_{D1} - c)}{D_1} \leq 0.1 \\ \text{усл1} \leftarrow \text{"условия НЕ выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{усл1} = \text{"условия выполняются"}$$

Радиус кривизны вершине днища и крышки

$$H_r := D_1 \cdot 0.25 = 300 \quad \text{мм}$$

$$R := \frac{D_1^2}{4H_r} = 1.2 \times 10^3$$

$$R = 1.2 \times 10^3$$

Допускаемое внутреннее избыточное давление для оболочки МПа

$$P_{dr1} := \frac{[2 \cdot \varphi \cdot \sigma_D \cdot (S_{D1} - c)]}{R + 0.5 \cdot (S_{D1} - c)} = 3.075$$

$$P_{dri} := \frac{[2 \cdot \varphi \cdot \sigma_{и20} \cdot (S_{D1} - c)]}{R + 0.5 \cdot (S_{D1} - c)} = 4.937$$

длина цилиндрического отбортовочной части

$$h_1 := 0.8 \cdot \sqrt{D_1 \cdot (S_{D1} - c)} = 91.497$$

Принимаем длину цилиндрического отбортовочной части  $h_1=100$  мм

$$h_1 := 100 \quad \text{мм}$$

#### 2.2.4. Расчет и подбор штуцеров, укрепления отверстий

Подбор стандартных штуцеров согласно [6]

Конструктивно принимаем штуцера с уплотнительной поверхностью шип-паз так как среда внутри аппарат взрывоопасная.

*Расчет диаметров патрубков:*

Штуцер для выхода конденсата газа с куба (А)

$L_{f1}$  - массовый расход смеси кг/ч  $L_{f1} := 48484.9$

$\rho_1 := 521.357$  кг/м<sup>3</sup> плотность смеси

$V_f$  - объемный расход смеси кг/с

$$V_{f1} := \frac{L_{f1}}{\rho_1 \cdot 3600} = 0.026$$

$\pi := 3.14$

$\omega$  - скорость движения м/с  $\omega_1 := 1.5$  м/с

$$d_{\text{вк}} := \sqrt{\frac{(4 \cdot V_{f1})}{\pi \cdot \omega_1}} = 0.148 \quad \text{мм}$$

Принимаем стандартный по Ду=150 мм

Штуцер 159х6

Длина 180 мм

Толщина стенки 6 мм

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

*Штуцер для вход парожидкостной смеси (Б) :*

$$L_{\text{п}} := 48484.9 \quad \text{кг/ч}$$

$$\rho_{\text{п}} := 521.357 \quad \text{кг/м}^3$$

$$V_{\text{п}} := \frac{L_{\text{п}}}{\rho_{\text{п}} \cdot 3600} = 0.026 \quad \text{м}^3/\text{с}$$

$$\omega_{\text{п}} := 1.5 \quad \text{м/с}$$

$$d_{\text{п}} := \sqrt{\frac{(4 \cdot V_{\text{п}})}{\pi \cdot \omega_{\text{п}}}} = 0.148$$

Принимаем стандартный Ду=150 мм

Штуцер 159х6

Длина 180 мм

Толщина стенки 6 мм

Штуцер 150 - 4,0 - 2 - 4 - 200 - 09Г2С АТК 24.218.06-90.

Пример условного обозначения штуцера Ду 150 мм, Ру 4,0 МПа, типа 2, исполнения 4, l= 180 мм, фланец из стали 09Г2С патрубок из стали 20:

*Расчет патрубков штуцеров диаметром 150 мм*

Расчетная толщина стенки патрубков при внутреннем избыточном давлении:

$$s_{p2} := \max \left( \left( \frac{P_{\text{рас}} \cdot \frac{150}{2 \cdot \varphi \cdot \sigma_{\text{Д}} - P_{\text{рас}}}}{P_{\text{и}} \cdot \frac{150}{2 \cdot \varphi \cdot \sigma_{\text{и}20} - P_{\text{и}}}} \right) \right) = 1.369 \quad \text{мм}$$

Исполнительная толщина стенки патрубков:

$$s_{\text{и}2} := s_{p2} + c = 4.369 \quad \text{мм}$$

Принимаем толщину для колонных аппаратов из ряда стандартных толщин

$$s_2 := 6 \quad \text{мм}$$

Проверка условий применимости формул безмоментной теории [5]:

$$\text{Проверка}_{16} := \begin{cases} \text{"Усл. выполняются"} & \text{if } \frac{s_2 - c}{150} \leq 0.1 \\ \text{"Усл. НЕ выполняются"} & \text{if } \frac{s_2 - c}{150} > 0.1 \end{cases}$$

Проверка<sub>16</sub> = "Усл. выполняются"

Допускаемое внутреннее избыточное давление при рабочих условиях:

$$P_{д2} := \frac{2 \cdot \sigma_d \cdot \varphi \cdot (s_2 - c)}{150 + (s_2 - c)} = 6.667 \quad \text{МПа}$$

Допускаемое внутреннее избыточное давление при гидроиспытаниях:

$$P_{и2} := \frac{2 \cdot \sigma_{и20} \cdot \varphi \cdot (s_2 - c)}{150 + (s_2 - c)} = 10.706 \quad \text{МПа}$$

Проверка условия прочности стенок, патрубка от действия внутреннего давления при рабочих условиях: [5]

$$\text{Проверка}_{17} := \begin{cases} \text{"Усл. прочности стенки выполняется"} & \text{if } P_{д2} > P_{рас} \\ \text{"Усл. прочности НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Проверка<sub>17</sub> = "Усл. прочности стенки выполняется"

Проверка условия прочности стенок, патрубка от действия внутреннего давления при гидроиспытаниях: [5]

$$\text{Проверка}_{18} := \begin{cases} \text{"Усл. прочности стенки выполняется"} & \text{if } P_{и2} > P_{и} \\ \text{"Усл. прочности НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Проверка<sub>18</sub> = "Усл. прочности стенки выполняется"

Подбираем стандартный фланец согласно [7]

Пример условного обозначения фланца исполнения 3 диаметром 300 мм на условное давление 4 МПа из стали 09Г2С

Фланец 3-300-4,0-092С ГОСТ 28759.3-90

Фланец 4-300-4,0-092СГОСТ28759.3-90

*Штуцер для входа питания на тарелки (В)*

$$L_{f2} := 36654.2 \quad \text{кг/ч}$$

$\rho_2 := 188.028$  плотность исходной смеси кг/м<sup>3</sup>

$$V_{f2} := \frac{L_{f2}}{\rho_2 \cdot 3600} = 0.054 \quad \text{м}^3/\text{с}$$

$$\omega_{f2} := 7.5 \quad \text{м/с}$$

$$d_{вп} := \sqrt{\frac{(4 \cdot V_{f2})}{\pi \cdot \omega_{f2}}} = 0.096$$

Принимаем стандарт Ду=100 мм

Штуцер 108х6

Длина 180 мм

Толщина стенки 6 мм

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

*Штуцер для выхода готовой продукции (Г)*

$$L_{f3} := 12605.4 \quad \text{кг/ч}$$

$$\rho_3 := 33.711 \quad \text{кг/м}^3$$

$$\omega_3 := 14.2 \quad \text{м/с}$$

$$V_{f3} := \frac{L_{f3}}{3600 \cdot \rho_3} = 0.104 \quad \text{м}^3/\text{с}$$

$$d_{вм} := \sqrt{\frac{(4 \cdot V_{f3})}{\pi \cdot \omega_3}} = 0.097 \quad \text{мм}$$

Принимаем стандарт Ду=100 мм

Штуцер 108х6

Длина 180 мм

Толщина стенки 6 мм

*Штуцер на орошение (Д)*

$$L_{f4} := 24436.1 \quad \text{кг/ч}$$

$$\rho_4 := 522.842 \quad \text{кг/м}^3$$

$$\omega_4 := 3 \quad \text{м/с}$$

$$V_{f4} := \frac{L_{f4}}{3600 \cdot \rho_4} = 0.013 \quad \text{м}^3/\text{ч}$$

$$d_{ор} := \sqrt{\frac{(4 \cdot V_{f4})}{\pi \cdot \omega_4}} = 0.074 \quad \text{мм}$$

Принимаем стандарт  $Dy = 80$  мм

Штуцер 89х6

Длина 180 мм

Толщина стенки 6 мм

Подбираем стандартный фланец согласно [7]

Пример условного обозначения фланца исполнения 3 диаметром 195 мм на

условное давление 4 МПа из стали 09Г2С

Фланец 3-195-4,0-09Г2С ГОСТ 28759.3-90

Фланец 4-195-4,0-09Г2С ГОСТ 28759.3-90

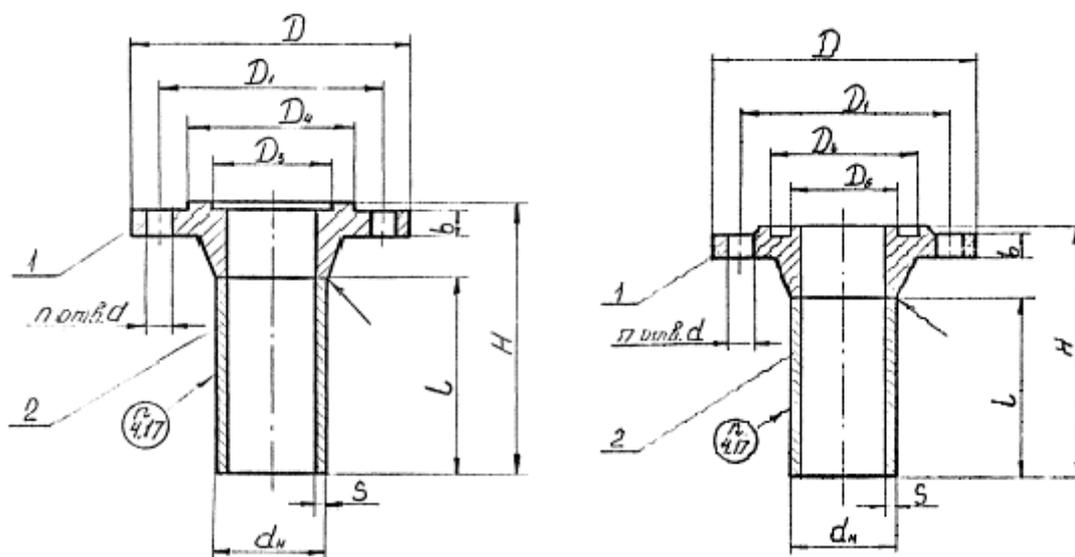


Рисунок 2.2.3 - Штуцера с фланцами приваренными встык с уплотнительной поверхностью типа шип-паз на условное давление 4,0 МПа

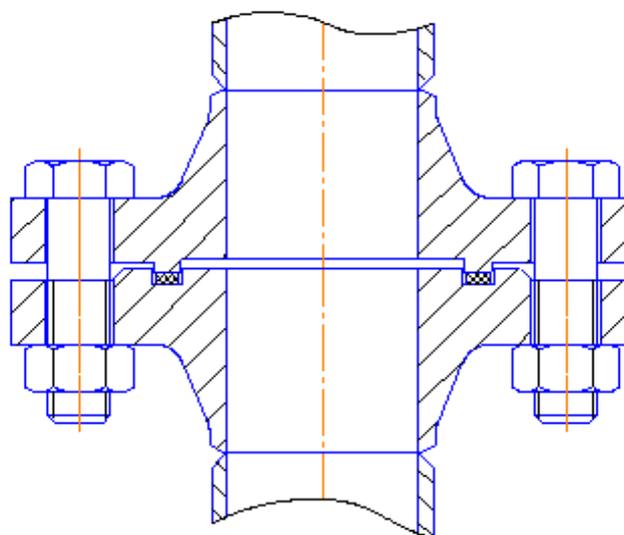


Рисунок 2.2.4. - Соединение штуцеров типа шип-паз.

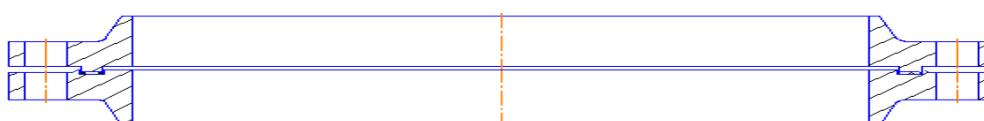


Рисунок 2.2.6.- Соединение фланцев типа шип-паз ГОСТ 28759.3-90

Таблица 2.2.3. Стандартных штуцеров

Dy, мм	D, мм	L, мм	H, мм	dn	s, мм	N
80	195	180	239	69	6	8
100	230	180	250	108	6	8
150	300	180	253	159	6	8

Таблица 2.2.4. Наименования штуцеров.

Обоз.	Наименования	Кол.	Dy мм	Py МПа
А	Выход конденсата газа из куба	1	150	4,0
Б	Вход парожидкостной смеси	1	150	4,0
В	Вход на питание тарелок	3	100	4,0
Г	Выход газа дегазации	1	100	4,0
Д	Вход на орошение	1	80	4,0
Ц	Люк-лаз	5	500	4,0
Щ	Лаз	2	500	-

### 2.2.5. Подбор и расчет люка-лаза

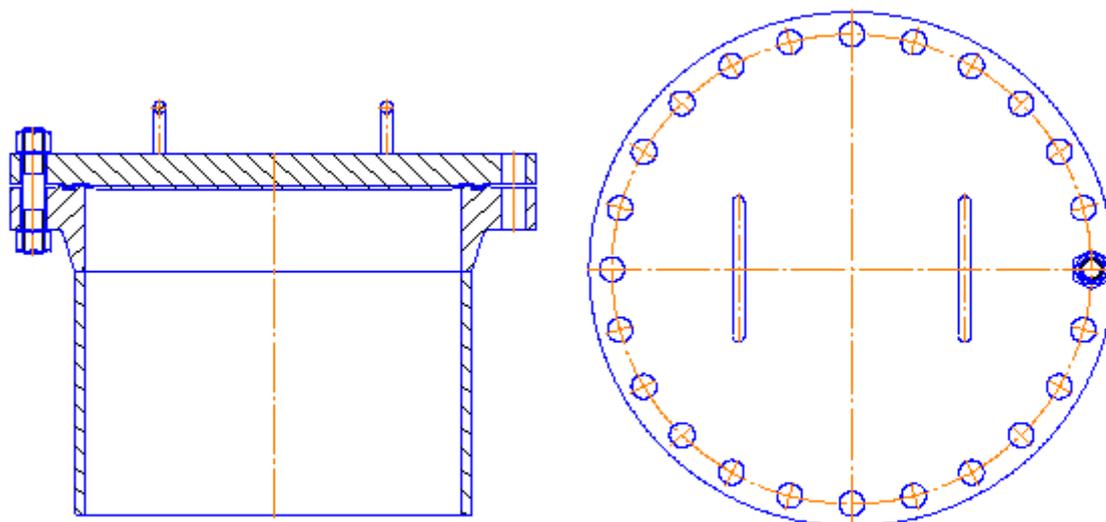


Рисунок 2.2.6 - Рисунок люк-лаз с уплотнительной поверхностью шип-паз ОСТ 26-2006-83.

Таблица 2.2.3. Люк-лаз основные конструктивные размеры

Дав. условное	Диаметр внутр.	$D^*$	$D_1^*$	$H^*$	$H_1$	$H_2$	$l$	$S$
МПа	мм							
4,0	500	695	635	240	575	445	300	12

### 2.2.6. Прочностной расчет фланцевого соединения люка-лаза:

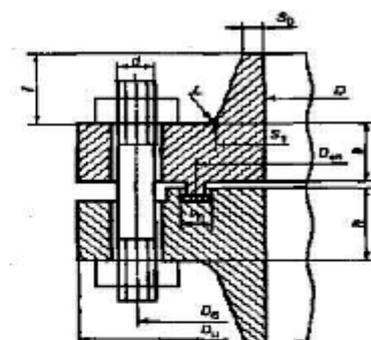


Рисунок 2.2.8. - Фланцевое соединения с приварными встык фланцами с гладкой уплотнительной поверхностью типа шип - паз.

**Тип фланца:** фланцевое соединения приварные встык

**Тип уплотнительной поверхности:** шип-паз

Расчет проводим [5]

Исходные данные для расчета: взяты из таблицы

Внутренний диаметр:  $D := 500$  мм

Наружный диаметр фланца:  $D_n := 695$  мм

Диаметр болтовой окружности:  $D_b := 635$  мм

Толщина фланца:  $h := 35$  мм

Материал обечаек и фланцев - сталь 09Г2С

Материал болтов - сталь 35Х Материал прокладки - паронит ПОН.

Толщина прокладки:  $h_p := 3$  мм

Ширина прокладки:  $b_p := 15$  мм

Диаметр болта:  $d := 30$  мм

Средний диаметр прокладки:

Толщина цилиндрической части втулки принята:

$s_0 := 12$  мм

Толщина конической части втулки:

$s_{1в} := 34$  мм

Уклон втулки (принимается):

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

Высота втулки:

$$h_b := 55 \text{ мм}$$

Средний диаметр прокладки:

$$D_{cp} := D_n - b_n = 680 \text{ мм}$$

Количество болтов:

$$n := 24 \text{ болта}$$

Расчетная температура фланцевого соединения (не изолированного):

$$t_\phi := t_{раб} \cdot 0.96 = 144 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Расчетная температура болтов:

$$t_b := t_{раб} \cdot 0.85 = 127.5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

материал для болтов: Сталь 35Х

допускаемое напряжение материала при температуре 20  $^\circ\text{C}$  для болта согласно [8]:

$$\sigma_{b20} := 230 \text{ МПа}$$

допускаемое напряжение материала болта при рабочей температуре

$t_b = 127.5 \text{ } ^\circ\text{C}$  согласно [9]:

$$\sigma_b := \text{Floor} \left[ \text{linterp} \left[ \left( \begin{array}{c} 100 \\ 150 \end{array} \right), \left( \begin{array}{c} 230 \\ 255 \end{array} \right), t_b \right], 0.5 \right] = 243.5 \text{ МПа}$$

материал для фланцевого соединения 09Г2С

допускаемое напряжение материала при гидроиспытаниях для фланцев согласно [3]:

$$\sigma_{\phi 20} := \sigma_{и20} = 273 \text{ МПа}$$

допускаемое напряжение материала при рабочей температуре  $t_\phi = 144 \text{ } ^\circ\text{C}$  для фланцев согласно [3]:

$$\sigma_\phi := \text{Floor} \left[ \text{linterp} \left[ \left( \begin{array}{c} 130 \\ 150 \end{array} \right), \left( \begin{array}{c} 140 \\ 133 \end{array} \right), t_\phi \right], 0.5 \right] = 135 \text{ МПа}$$

Модуль упругости материала болта при температуре 20 градусов:

$$E_{b20} := 2.15 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

Модуль упругости материала фланца 09Г2С согласно [3, стр. 27, таблица В1] для низколегированных сталей, при температуре 20  $^\circ\text{C}$

$$E_{20} := 2.1 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

Модуль упругости материала фланца при рабочей температуре  $t_{\phi} = 144 \text{ }^{\circ}\text{C}$ :

$$E := \text{Floor} \left[ \text{linterp} \left[ \begin{pmatrix} 120 \\ 150 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} 2.03 \cdot 10^5 \\ 2.02 \cdot 10^5 \end{pmatrix}, t_{\phi} \right], 0.5 \right] = 2.022 \times 10^5 \quad \text{МПа}$$

Модуль упругости материала болта при рабочей температуре  $t_{\text{б}} = 127.5 \text{ }^{\circ}\text{C}$  (Сталь 35Х теплоустойчивая и коррозионно-стойкая хромистая):

$$E_{\text{б}} := \text{Floor} \left[ \text{linterp} \left[ \begin{pmatrix} 100 \\ 150 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} 1.9 \cdot 10^5 \\ 1.84 \cdot 10^5 \end{pmatrix}, t_{\text{б}} \right], 0.5 \right] = 1.867 \times 10^5 \quad \text{МПа}$$

Температурный коэффициент линейного расширения материала фланцев 09Г2С согласно [3, стр. 28, таблица Г1]

$$\alpha_{\phi} := 12.6 \cdot 10^{-6}$$

Температурный коэффициент линейного расширения болтов 35Х согласно [8, стр 286, таблица XI]:

$$\alpha_{\text{б}} := 13.2 \cdot 10^{-6}$$

Эффективная ширина прокладки:  
-для плоских прокладок:

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

Характеристики прокладки:

Прокладочный коэффициент  $m$   $m := 2.5$

Удельное давление обжатия прокладки:

$$q_{\text{обж}} := 20 \quad \text{МПа}$$

Допускаемое Удельное давление

$$q_d := 130 \quad \text{МПа}$$

Коэффициент обжатия:

$$K_{\text{обж}} := 0.9$$

Условный модуль сжатия прокладки

$$E_{\text{п}} := 200 \quad \text{МПа}$$

Усилие, необходимое для смятия прокладки при затяжке,

$$P_{\text{обж}} := 0.5\pi \cdot D_{\text{сп}} \cdot b_0 \cdot m \cdot |P_{\text{рас}}| = 9.847 \times 10^4 \quad \text{Н}$$

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

$$R_n := \begin{cases} \pi \cdot D_{\text{сп}} \cdot b_0 \cdot m \cdot P_{\text{рас}} & \text{if } P_{\text{рас}} \geq 0 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} = 1.969 \times 10^5 \text{ Н}$$

Площадь поперечного сечений болтов (шпилек) по таблице 5

$$f_b := 540 \text{ мм}^2$$

Таблица 2.2.4. Расчетная площадь поперечного сечения болтов.

$d_b, \text{мм}$	20	22	24	27	30	36
$f_b, 10^{-4}, \text{м}^2$	2,35	2,95	3,4	4,45	5,4	7,9
$d_b, \text{мм}$	42	48	52	56	60	65
$f_b, 10^{-4}, \text{м}^2$	10,9	14,4	18,2	19,65	23,0	26,0

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

$$A_b := n \cdot f_b = 1.296 \times 10^4 \text{ мм}^2$$

Равнодействующая нагрузка от давления

$$Q_d := \frac{\pi}{4} \cdot (D_{\text{сп}})^2 \cdot P_{\text{рас}} = 8.928 \times 10^5 \text{ Н}$$

Податливость прокладки

$$y_n := \frac{h_n \cdot K_{\text{обж}}}{E_n \cdot \pi \cdot D_{\text{сп}} \cdot b_n} = 4.215 \times 10^{-7} \text{ мм/Н}$$

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

$$L_{b0} := 2 \cdot h + h_n = 73 \text{ мм}$$

Эффективная длина болта при определении податливости

$$L_b := \text{ceil}(L_{b0} + 0.28 \cdot d) = 82 \text{ мм}$$

Податливость болтов

$$y_b := \frac{L_b}{E_{620} \cdot A_b} = 2.943 \times 10^{-8} \text{ мм/Н}$$

Расчетные параметры фланцев:

Параметр длины обечайки:

$$l_0 := \sqrt{D \cdot s_0} = 77.46 \text{ мм}$$

- отношение наружного диаметра тарелки фланца к внутреннему диаметру

$$K := \frac{D_H}{D} = 1.39$$

- коэффициенты, зависящие от соотношения размеров тарелки фланца,

$$\beta_T := \frac{K^2 \cdot (1 + 8.55 \cdot \log(K)) - 1}{(1.05 + 1.945 \cdot K^2) \cdot (K - 1)} = 1.757$$

$$\beta_U := \frac{K^2 \cdot (1 + 8.55 \cdot \log(K)) - 1}{1.36(K^2 - 1) \cdot (K - 1)} = 6.664$$

$$\beta_Y := \frac{1}{(K - 1)} \cdot \left[ 0.69 + 5.72 \cdot \frac{K^2 \cdot \log(K)}{(K^2 - 1)} \right] = 6.117$$

$$\beta_Z := \frac{K^2 + 1}{K^2 - 1} = 3.146$$

Коэффициенты  $\beta_F$ ,  $\beta_V$  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:

$$\beta := \frac{s_1}{s_0} = 1.167$$

$$x := \frac{h_B}{\sqrt{D \cdot s_0}} = 0.71$$

- коэффициенты для фланцевых соединений с приварными встык фланцами:

$$\beta_F := 0.88 \quad \beta_V := 0.22 \quad f := 1$$

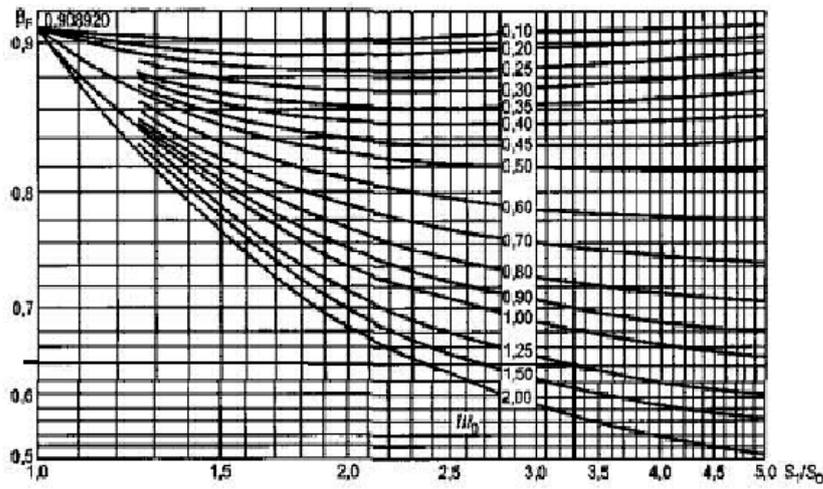


Рисунок 2.2.9. - Коэффициент  $\beta_F$

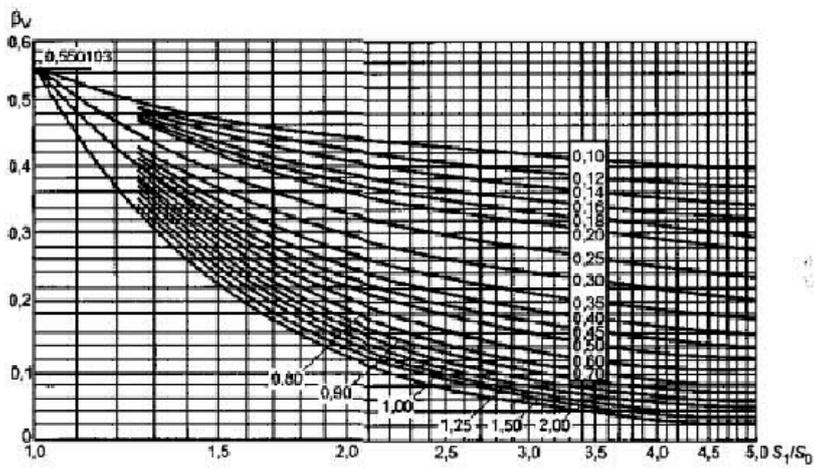


Рисунок 2.2.10 - Коэффициент  $\beta_V$

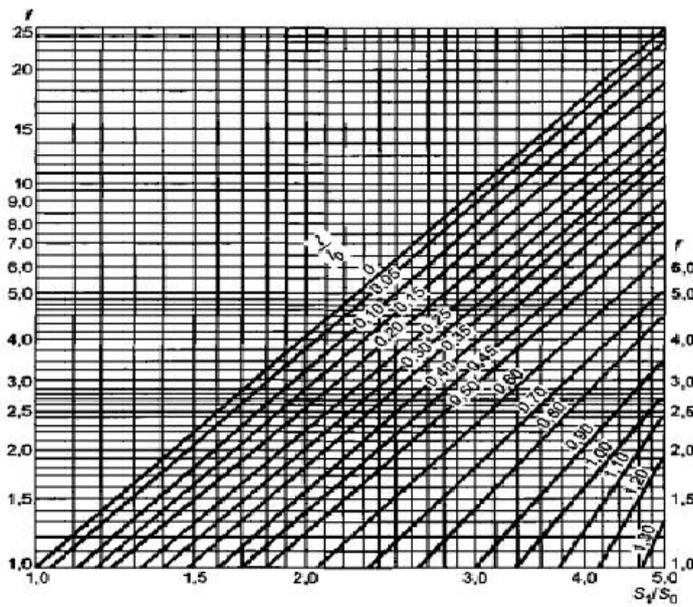


Рисунок 2.2.11. - Поправочный коэффициент для напряжений во втулке фланца  $f$

- коэффициент  $\lambda$

$$\lambda := \frac{\beta_F \cdot h + l_0}{\beta_T \cdot l_0} + \frac{\beta_V \cdot h^3}{\beta_U \cdot l_0 \cdot (s_1)^2} = 0.889$$

Угловая податливость фланцев:

Угловая податливость фланца при затяжке:

$$y_\phi := \frac{0.91 \cdot \beta_V}{\lambda \cdot s_0^2 \cdot l_0 \cdot E_{20}} = 9.618 \times 10^{-11}$$

Плечи действий усилия в болтах:

-Для приваренных встык фланцев: смотри [3, стр. 32]

$$b := 0.5 \cdot (D_H - D_{сн}) = 7.5 \quad \text{мм}$$

Относительная длина втулки фланца:

$$\xi := 1 + (\beta - 1) \cdot \frac{x}{x + \frac{1 + \beta}{4}} = 1.095$$

$$s_3 := \xi \cdot s_0 = 13.135$$

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

$$e := 0.5 \cdot (D_{сн} - D - s_3) = 83.433 \quad \text{мм}$$

Усилие, возникающее от температурных деформаций

Козффициент жесткости фланцевого соединения нагруженного внутренним давлением:

$$\alpha := 1 - \frac{y_n - 2 \cdot y_\phi \cdot e \cdot b}{y_n + y_b + 2 \cdot e \cdot y_\phi \cdot b^2} = 0.778$$

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

$$P_{б1} := \alpha \cdot Q_d + R_n$$

$$P_{б1} := 4.061 \cdot 10^4 \quad \text{Н}$$

При рабочих условиях:

$$P_{б2} := P_{б1} + (1 - \alpha) \cdot (Q_d) = 2.392 \times 10^5 \quad \text{Н}$$

Расчётная нагрузка на болты (шпильки) фланцевых соединений:

- при затяжке фланцевого соединения

$$P_{бм} := \max(P_{б1}, P_{б2}) = 2.392 \times 10^5 \quad \text{Н}$$

-в рабочих условиях

$$P_{бр} := P_{бм} + (1 - \alpha) \cdot Q_d = 4.379 \times 10^5 \quad \text{Н}$$

Расчетные напряжения в болтах при затяжке:

$$\sigma_{б1} := \frac{P_{бм}}{A_б} = 18.459 \quad \text{МПа}$$

В рабочих условиях

$$\sigma_{б2} := \frac{P_{бр}}{A_б} = 33.785 \quad \text{МПа}$$

где  $\xi = 1,2$  — коэффициент увеличения допускаемых напряжений при затяжке;

$K_{ур}$  — коэффициент условий работы:

$K_{ур1} = 1,0$  для рабочих условий;

$K_{ур2} = 1,35$  для условий испытания.

$$\xi := 1.2$$

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

$K_{у.з}$  — коэффициент условий затяжки:

$K_{у.з} = 1,0$  при обычной неконтролируемой затяжке;

$$K_{у.з} := 1$$

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:

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

При рабочих условиях

$$\sigma_{бр} := K_{у.p1} \cdot K_{у.з} \cdot K_{у.т} \cdot \sigma_б = 316.55 \quad \text{МПа}$$

Условие прочности болтов при затяжке:

$$\text{Услов}_1 := \begin{cases} \text{"Усл. прочности болтов при гидраиспытаниях " } & \text{if } \sigma_{б1} \leq \sigma_{бм} \\ \text{"Усл. прочности не выполняются" } & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{Услов}_1 = \text{"Усл. прочности болтов при гидраиспытаниях "}$$

$$\sigma_{б1} = 18.459 \quad \text{МПа} \quad \sigma_{бм} = 484.38 \quad \text{МПа}$$

Условие прочности болтов в рабочих условиях:

$$\text{Услов}_2 := \begin{cases} \text{"Усл. прочности болтов при работе выполняются"} & \text{if } \sigma_{62} \leq \sigma_{6p} \\ \text{"Усл. прочности не выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Услов<sub>2</sub> = "Усл. прочности болтов при работе выполняются"

$$\sigma_{62} = 33.785 \quad \text{МПа} \quad \sigma_{6p} = 316.55 \quad \text{МПа}$$

Паронит мягкая прокладка, поэтому в соответствии с [3] проверяется условие прочности прокладки:

Расчетное удельное давление:

$$q := \frac{\max(P_{61}, P_{62})}{\pi \cdot D_{\text{сп}} \cdot b_0} = 7.469 \quad \text{МПа}$$

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

$$q_d := 130 \quad \text{МПа}$$

$$\text{Услов}_{\text{проч}} := \begin{cases} \text{"Усл. выполняются"} & \text{if } q \leq q_d \\ \text{"Усл. не выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Услов<sub>проч</sub> = "Усл. выполняются"

*Расчет фланца на статическую прочность:*

Коэффициент, учитывающий изгиб тарелки фланца между болтами:

$$C_{\phi} := \max \left( 1, \sqrt{\frac{\frac{\pi \cdot D_1}{n}}{2 \cdot d + \frac{h \cdot 6}{m + 0.5}}} \right) = 1.099$$

Расчетный изгибающий момент, действующий на фланец при затяжке:

$$M_m := C_{\phi} \cdot P_{61} \cdot b = 3.347 \times 10^5 \quad \text{Н} \cdot \text{мм}$$

Расчетный изгибающий момент, действующий на фланец в рабочих условиях:

$$M_p := C_{\phi} \cdot \max[(P_{6p} \cdot b + Q_d \cdot e), e \cdot |Q_d|] = 8.547 \times 10^7 \quad \text{Н} \cdot \text{мм}$$

Приведенный диаметр приварного встык фланца с конической втулкой:

$$D_{\text{пр}} := \begin{cases} D & \text{if } D \geq 20 \cdot s_1 \\ (D + s_0) & \text{if } \begin{cases} f > 1 \\ D \leq 20 \cdot s_1 \end{cases} \\ (D + s_1) & \text{if } \begin{cases} D \leq 20 \cdot s_1 \\ f = 1 \end{cases} \end{cases} = 514 \quad \text{мм}$$

Расчетные напряжения во фланце при затяжке:

$$\sigma_{1M} := \frac{M_M}{\lambda \cdot (s_1 - c)^2 \cdot D_{\text{пр}}} = 6.056 \quad \text{МПа}$$

$$\sigma_{0M} := f \cdot \sigma_{1M} = 6.056 \quad \text{МПа}$$

*Расчетные напряжения во фланце в рабочих условиях:*

Меридиональное изгибающее напряжение для плоского фланца:

$$\sigma_{1P} := \frac{M_P}{\lambda \cdot (s_1 - c)^2 \cdot D_{\text{пр}}} = 1.546 \times 10^3 \quad \text{МПа}$$

$$\sigma_{0P} := f \cdot \sigma_{1P} = 1.546 \times 10^3 \quad \text{МПа}$$

Меридиональные мембранные напряжения во втулке приварного встык фланца:

$$\sigma_{0\text{мм\_раб}} := \frac{Q_D}{\pi \cdot (D + s_0) \cdot (s_0 - c)} = 61.705 \quad \text{МПа}$$

Окружные мембранные напряжения от действия давления во втулке приварного встык фланца, трубе плоского фланца  $S_0$ :

$$\sigma_{0\text{мо\_раб}} := \frac{D \cdot P_{\text{рас}}}{2 \cdot (s_0 - c)} = 68.324 \quad \text{МПа}$$

*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 [3, стр. 15]: с учетом стесненности температурных деформаций:

$$K_T := 1.3$$

допускаемое значение суммарных общих и местных условных упругих мембранных и изгибных напряжений МПа;

$$\sigma_R := \sigma_6 = 243.5 \quad \text{МПа}$$

$$\sigma_{0M} = 6.056 \quad \text{МПа}$$

$$\sigma_R \cdot K_T = 316.55 \quad \text{МПа}$$

$$\text{Услов}_3 := \begin{cases} \text{"Усл.прочности выполняются"} & \text{if } \sigma_{0M} \leq \sigma_R \cdot K_T \\ \text{"Усл. прочности не выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{Услов}_3 = \text{"Усл.прочности выполняются"}$$

*Проверка углов поворота фланцев:*

Угол поворота приварного встык, плоского фланца и бурта свободного фланца в рабочих условиях: [3, стр. 25]

$$\theta := P_{бр} \cdot y_{\phi} \cdot \frac{E_{20}}{E} = 4.374 \times 10^{-5}$$

Допускаемый угол поворота фланца определяем при помощи интерполяции:

$$\theta_d := \text{Floor} \left[ \text{linterp} \left[ \left( \begin{array}{c} 400 \\ 2000 \end{array} \right), \left( \begin{array}{c} 0.006 \\ 0.013 \end{array} \right), D \right], 0.00005 \right] = 6.4 \times 10^{-3}$$

$$\text{Усл}_{\text{поворота}} := \begin{cases} \text{"Усл. выполняется"} & \text{if } \theta \leq \theta_d \\ \text{"Условие НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{Усл}_{\text{поворота}} = \text{"Усл. выполняется"}$$

$$\theta = 4.374 \times 10^{-5}$$

$$\theta_d = 6.4 \times 10^{-3}$$

### 2.2.7. Расчет на прочность плоской крышки люка-лаза:

Расчет проводим согласно [5, стр. 30]

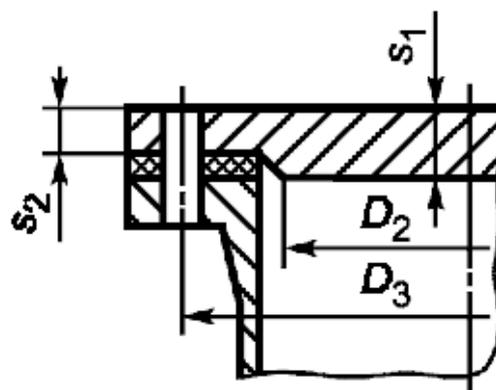


Рисунок 2.2.12. - Схема плоской крышки

Расчетный диаметр:

$$D_p := 50 \text{ мм}$$

Коэффициент, зависящий от способа закрепления крышки:

$$K := 0.4$$

Коэффициент ослабления, при отсутствии отверстий в крышке:

$$K_0 := 1$$

Расчетная толщина крышки:

$$s_{pk} := \max \left( \left( K \cdot K_0 \cdot D_p \cdot \sqrt{\frac{P_{рас}}{\varphi \cdot \sigma_d}} \right), \left( K \cdot K_0 \cdot D_p \cdot \sqrt{\frac{P_{и}}{\varphi \cdot \sigma_{и20}}} \right) \right) = 26.897 \quad \text{мм}$$

Исполнительная толщина стенки крышки:

$$s_{ик} := s_{pk} + c = 29.897 \quad \text{мм}$$

Принимаем исполнительную толщину крышки:

$$s_k := 30 \quad \text{мм}$$

Проверка условий применимости формул для расчета плоских крышек:

$$\text{Пров}_1 := \begin{cases} \text{"Усл. выполняются"} & \text{if } \frac{12 - c}{D_p} \leq 0.11 \\ \text{"Условия НЕ выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases} = \text{"Усл. выполняются"}$$

Расчет допускаемого внутреннего избыточного давления:

допускаемое внутреннее давление при гидраиспытаниях:

$$P_{д5} := \left[ \frac{(s_k - c)}{(K \cdot K_0 \cdot D_p)} \right]^2 \cdot \varphi \cdot \sigma_d = 3.098 \quad \text{МПа}$$

допускаемое внутреннее давление при рабочих условиях:

$$P_{д6} := \left[ \frac{(s_k - c)}{(K \cdot K_0 \cdot D_p)} \right]^2 \cdot \varphi \cdot \sigma_{и20} = 4.975 \quad \text{МПа}$$

Проверка условия прочности стенки крышки:

Проверка условия прочности крышки от действия внутреннего давления при гидраиспытаниях

$$\text{Пров}_2 := \begin{cases} \text{"Усл. прочности стенки крышки выполняется"} & \text{if } P_{д6} > P_{и} \\ \text{"Усл. прочности НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{Пров}_2 = \text{"Усл. прочности стенки крышки выполняется"}$$

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

$$\text{Пров}_3 := \begin{cases} \text{"Усл. прочности стенки крышки выполняется"} & \text{if } P_{д6} > P_{рас} \\ \text{"Усл. прочности НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

**Пров<sub>3</sub> = "Усл. прочности стенки крышки выполняется"**

### 2.2.8. Укрепление отверстий патрубков штуцеров

согласно [6]:

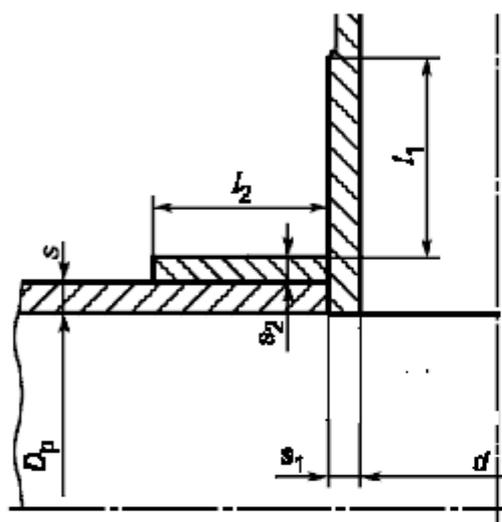


Рисунок 2.2.13. - Укрепление отверстий при наличии проходного штуцера

Расчетный диаметр укрепляемых элементов:

- для цилиндрической обечайки

$$D_{p1} := D_1 = 1.2 \times 10^3 \quad \text{мм}$$

- для эллиптической крышки и днища

$$D_{p3} := 2 \cdot R = 2.4 \times 10^3 \quad \text{мм}$$

*Расчетный диаметр отверстий в стенках обечайки, ось которого совпадает с нормалью к поверхности: расчет проводим по [6]*

Расчетный диаметр отверстия штуцера входа сырья на тарелки и (такой же диаметр имеет штуцер для выхода готовой продукции из К-1):

$$d_1 := \text{ceil}(100 + 2 \cdot c) = 106 \quad \text{мм}$$

Расчетный диаметр отверстия штуцера для выхода конденсата из куба (такой же диаметр имеет штуцер для входа парожидкосной смеси):

$$d_2 := \text{ceil}(150 + 2 \cdot c) = 156 \quad \text{мм}$$

Расчетный диаметр отверстия штуцера для орошения

$$d_3 := \text{ceil}(80 + 2 \cdot c) = 86 \quad \text{мм}$$

Расчет диаметра люка-лаза

$$d_{\text{люк}} := \text{ceil}(500 + 2 \cdot c) = 506 \quad \text{мм}$$

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

- для цилиндрической обечайки

$$d_{01} := 2 \cdot \left( \frac{s_1 - c}{s_{p1}} - 0.8 \right) \cdot \sqrt{D_{p1} \cdot (s_1 - c)} = 46.995 \quad \text{мм}$$

- для эллиптической крышки:

$$d_{03} := 2 \cdot \left( \frac{S_{R1} - c}{S_d} - 0.8 \right) \cdot \sqrt{D_{p3} \cdot (S_{R1} - c)} = 67.95 \quad \text{мм}$$

Проверка необходимости проведения расчета на укрепления отверстий для штуцера входа питания на тарелки:

$$\text{Расч}_{\text{отв1}} := \begin{cases} \text{"Расчет укрепления отверстия штуце не требуется"} & \text{if } d_1 < d_{01} \\ \text{"Расчет укрепления отверстия штуцера необходим"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{Расч}_{\text{отв1}} = \text{"Расчет укрепления отверстия штуцера необходим"}$$

### 2.2.9. Расчет укрепления отверстия люка-лаза

Для дальнейшего расчета необходимо определить расчетную толщину стенки патрубка:

$$s_{p\_ш1} := \max \left( \frac{P_{\text{рас}} \cdot d_{\text{люк}}}{2 \cdot \sigma_d \cdot \varphi - P_{\text{рас}}}, \frac{P_{\text{и}} \cdot d_{\text{люк}}}{2 \cdot \sigma_{и20} \cdot \varphi - P_{\text{и}}} \right) = 4.617 \quad \text{мм}$$

Исполнительная толщина стеки люка лаза:

$$s_{и\_ш1} := s_{p\_ш1} + c = 7.617 \quad \text{мм}$$

Принимаем толщину люка лаза:

$$s_{ш1} := 14 \quad \text{мм}$$

Укрепление отверстий осуществляется за счет укрепляющего кольца:

$$\sigma_d = 170 \quad \text{МПа}$$

Допускаемое напряжение для материала внешней части штуцер при расчетной температуре:

$$\sigma_{д1} := \sigma_{д} = 170 \text{ МПа}$$

Допускаемое напряжение для материала накладного кольца при расчетной температуре:

$$\sigma_{д2} := \sigma_{д} = 170 \text{ МПа}$$

Отношения допускаемых напряжений:  
-для внешней части штуцера:

$$\chi_1 := \min\left(1, \frac{\sigma_{д1}}{\sigma_{д}}\right) = 1$$

для накладного кольца:

$$\chi_2 := \min\left(1, \frac{\sigma_{д2}}{\sigma_{д}}\right) = 1$$

Толщина укрепляющего кольца: (задаемся конструктивно)

$$s_5 := 14 \text{ мм}$$

Расчетная ширина накладного кольца:

$$l_2 := \text{ceil}\left[\sqrt{D_{p1} \cdot (s_2 + s_5 - c)}\right] = 143 \text{ мм}$$

Принимаем ширину накладного кольца:

$$l_2 := 150 \text{ мм}$$

Длина внешней части люка-паза

$$l_1 := 1.25 \cdot \sqrt{(d_{\text{люк}} + 2 \cdot c) \cdot (s_{ш1} - c)} = 93.808 \text{ мм}$$

Принимаем длину патрубка конструктивно для удобства монтажа:

$$l_1 := 445 \text{ мм}$$

Расчетный диаметр отверстия, не требующий дополнительного укрепления,

$$d_{ор} := 0.4 \cdot \sqrt{D_{p1} \cdot (s_2 - c)} = 24 \text{ мм}$$

$$A_1 := l_1 \cdot (s_{ш1} - s_{p_{ш1}} - c) \cdot \chi_1 + l_2 \cdot s_5 \cdot \chi_2 = 4.94 \times 10^3 \text{ мм}^2$$

$$A_2 := 0.5 \cdot (d_1 - d_{ор}) \cdot s_{ш1} = 574 \text{ мм}^2$$

условие укрепления штуцера:

$$\text{УСЛ}_{\text{укрепления1}} := \begin{cases} \text{"усл. укрепления отверстия выполняется"} & \text{if } A_1 \geq A_2 \\ \text{"усл. не выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{УСЛ}_{\text{укрепления1}} = \text{"усл. укрепления отверстия выполняется"}$$

Ширина зоны укрепления в обечайке:

$$L_{0\text{люк}} := \sqrt{D_{p1} \cdot (s_2 - c)} = 60 \quad \text{мм}$$

Расчетная ширина зоны укрепления в обечайке:

$$l_p := L_{0\text{люк}} = 60 \quad \text{мм}$$

Коэффициент понижение прочности:

$$K_1 := 1$$

$$V := \frac{1 + \frac{l_1 \cdot (s_{ш1} - c) \cdot \chi_1 + l_2 \cdot s_5 \cdot \chi_2}{l_p \cdot (s_2 - c)}}{1 + 0.5 \cdot \frac{d_{\text{люк}} - d_{03}}{l_p} + K_1 \cdot \frac{500 + 2 \cdot c}{D_{p1}} \cdot \frac{\varphi}{\varphi} \cdot \frac{l_1}{l_p}} = 5.125$$

Допускаемое давление штуцера при рабочих условиях:

$$P_{д\_шт1} := \frac{2 \cdot K_1 \cdot (s_{ш1} - c) \cdot \varphi \cdot \sigma_{Д1} \cdot V}{500 + (s_{ш1} - c) \cdot V} = 34.451 \quad \text{МПа}$$

Допускаемое давление штуцера при гидроиспытаниях:

$$P_{д\_шт2} := \frac{2 \cdot K_1 \cdot (s_{ш1} - c) \cdot \varphi \cdot \sigma_{и20} \cdot V}{500 + (s_{ш1} - c) \cdot V} = 55.324 \quad \text{МПа}$$

Проверка условия прочности стенок, штуцера при рабочих условиях:

$$\text{Условие}_{\text{прочности\_шт1}} := \begin{cases} \text{"Усл. выполняется"} & \text{if } P_{д\_шт1} \geq P_{\text{рас}} \\ \text{"Усл. НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

**Условие<sub>прочности\_шт1</sub> = "Усл. выполняется"**

$$P_{д\_шт1} = 34.451 \quad \text{МПа} \quad P_{\text{рас}} = 2.46 \quad \text{МПа}$$

Проверка условия прочности стенок, штуцера при гидраиспытаниях:

$$\text{Условие}_{\text{прочности\_шт2}} := \begin{cases} \text{"Усл. выполняется"} & \text{if } P_{д\_шт2} \geq P_{и} \\ \text{"Усл. НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

**Условие<sub>прочности\_шт2</sub> = "Усл. выполняется"**

$$P_{д\_шт2} = 55.324 \quad \text{МПа} \quad P_{и} = 4.937 \quad \text{МПа}$$

Анологично производим расчеты укреплений отверстий

### 2.2.10. Расчёт клапанной тарелки

Материал тарелки: Сталь 09Г2С

Диск тарелки представляет собой круглую пластину, опёртую по контуру и нагруженную равномерной нагрузкой от собственного веса и веса жидкости.

Подбираем тарелку типа ТКП согласно [8]

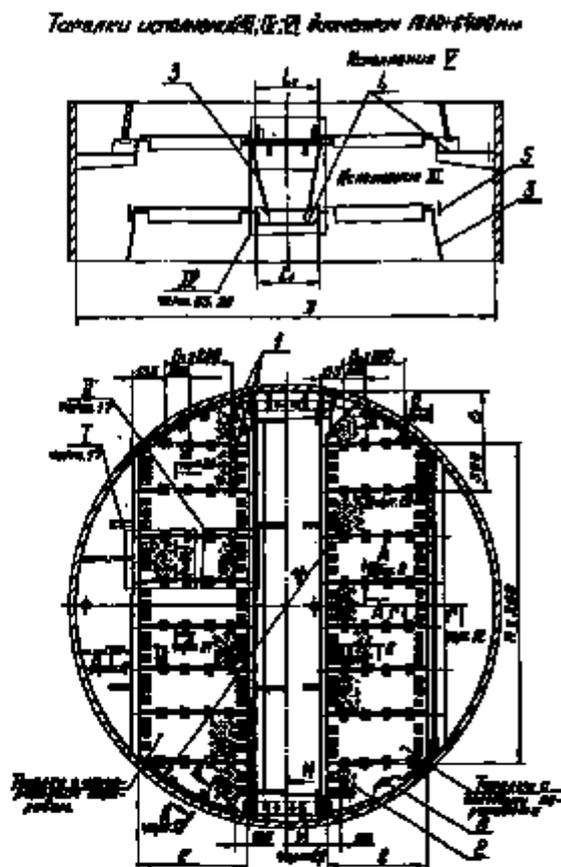


Рисунок 2.2.14. - клапанная тарелка.

*Определение толщины тарелки:*

согласно [13]

$K := 0.36$  - Коэффициент, зависящий от способа закрепления стенки.

Коэффициент ослабления тарелки отверстиями:

Расстояние между центрами отверстий на тарелке:

$t := 100$  мм

- Меньшая сторона стенки

$b := 390$  мм

Предел текучести для материала тарелки: в рабочих условиях  $t_{раб} := 150$  °C

$$\tau_{тар} := \text{Floor} \left[ \text{interp} \left[ \left( \begin{array}{c} 100 \\ 200 \end{array} \right), \left( \begin{array}{c} 224 \\ 223 \end{array} \right), t_{раб}, 0.5 \right], 0.5 \right] = 223.5 \text{ Па}$$

Запас прочности:

$n_T := 1.1$

Поправочный коэффициент, учитывающий условия эксплуатации аппарата:

$\eta_T := 0.9$

Допускаемое напряжение на изгиб для материала тарелки:

$$\sigma_{из} := \frac{\tau_{тар}}{n_T} \cdot \eta_T = 182.864 \quad \text{МПа}$$

Ускорение свободного падения:  $g = 9.8 \frac{\text{М}}{\text{с}}$

Высота слоя жидкости на тарелки:  $h := 0.06 \quad \text{м}$

Плотность жидкости на тарелки:  $\rho_{жид} := 188.028 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$

масса человека, назначаем конструктивно:

$W_0 := 100 \quad \text{кг}$

масса тарелки:  $W_T := 60 \quad \text{кг}$

Диаметр 1.2 м

Давление, действующее на тарелку аппарата:

$$p := \frac{4 \cdot g \cdot (W_T + W_0 + \rho_{жид} \cdot h)}{1.2^2 \cdot \pi \cdot 10^6} = 1.485 \times 10^{-3} \quad \text{МПа}$$

расчетная толщина тарелки:

$$s_{тар} := K \cdot b \cdot \sqrt{\frac{p}{\sigma_{из} \cdot \varphi}} = 0.4 \quad \text{мм}$$

Исполнительная толщина тарелки:

$s_{к1} := 1$  прибавка на коррозию

$s_{итар} := s_{тар} + s_{к1} = 1.4 \quad \text{мм}$

Принимаем толщину тарелки:

$s_T := 2 \quad \text{мм}$

Расчет на прогиб тарелки

коэффициент для жестко закрепленной по периметру секции равен:

Модуль упругости материала тарелки:  $K_c := 0.0106$

$$E_{тар} := \text{Floor} \left[ \text{linterp} \left[ \begin{pmatrix} 100 \\ 200 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} 1.99 \cdot 10^5 \\ 1.86 \cdot 10^5 \end{pmatrix}, t_{раб} \right], 0.5 \right] = 1.925 \times 10^5 \quad \text{МПа}$$

Согласно [13]

Относительный прогиб:

$$y := K_c \cdot \frac{b^4 \cdot p}{E_{\text{тар}} \cdot S_T} = 0.946 \quad \text{мм}$$

Прогиб тарелки не должен быть больше 0,6 мм, условие выполняется.

$$\text{Проверка}_{\text{тар}} := \begin{cases} \text{"Прогиб нормальный"} & \text{if } (y < 0.6) \\ \text{"Увеличить толщину тарелки"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Проверка<sub>тар</sub> = "Увеличить толщину тарелки"

*Расчет на поперечный изгиб*

Периметр слива:

$$\Pi_{\text{пер}} := 970 \quad \text{мм}$$

Коэффициент, зависящий от способа закрепления ребра на опорах, не жесткое закрепление:

$$K_{\text{ребра}} := 4$$

Предельно расчетный момент сопротивления укрепляющего ребра:

$$W_p := \frac{\left(\frac{b}{3}\right)^2 \cdot \left(\frac{\Pi_{\text{пер}}}{3}\right) \cdot p}{2 \cdot K_{\text{ребра}} \cdot \sigma_{\text{из}}} = 5.547$$

Выбираем уголок согласно [13] "Уголок 35x35 ГОСТ 8509-93" с  $W_p=0.93 \text{ см}^3$

### 2.2.11 Расчет веса аппарата

Диаметр внутренний колонны:

$$D_1 := 1.2 \quad \text{м}$$

Толщина стенки обечайки :

$$s_{\text{ст}} := 0.014 \quad \text{м}$$

Высота колонны

$$H_{\text{ар}} := 23.550 \quad \text{м}$$

Плотность материала сталь 09Г2С

$$\rho_{\text{мет}} := 7850 \quad \text{кг/м}^3 \quad \pi := 3.14$$

Плотность воды кг/м<sup>3</sup>

$$\rho_{\text{вод}} := 1000$$

$$g := 9.8 \quad \text{н}$$

*Масса аппарата:*

Масса корпуса:

$$G1 := H_{ap} \cdot D_1 \cdot S_{ст} \cdot \rho_{мет} \cdot \pi = 9.752 \times 10^3 \quad \text{кг}$$

Масса днищ и крышек

$$G2 := 2D_1 \cdot \rho_{мет} \cdot \pi \cdot S_{ст} = 828.206 \quad \text{кг}$$

Масса тарелок

$$h_c := 27 \quad \text{число тарелок}$$

$$m_h := 40 \quad \text{масса одной тарелки}$$

$$G4 := h_c \cdot m_h = 1.08 \times 10^3 \quad \text{кг}$$

Масса всех фланцев, штуцеров, изоляции и т.п.

$$G_f := G1 \cdot 0.25 = 2.438 \times 10^3$$

$$G3 := G_f + G1 = 1.219 \times 10^4 \quad \text{кг}$$

Масса пустого аппарата

$$G_{п\text{у}\text{с}} := G2 + G4 + G3 = 1.41 \times 10^4 \quad \text{кг}$$

Вес аппарата:

$$Var := G_{п\text{у}\text{с}} \cdot g = 1.382 \times 10^5 \quad \text{Н}$$

Вес воды в аппарате

$$G_v := \frac{(\pi \cdot D_1^2)}{4} \cdot H_{ap} \cdot \rho_{вод} \cdot g = 2.609 \times 10^5 \quad \text{Н}$$

Вес колонны наполненный водой:

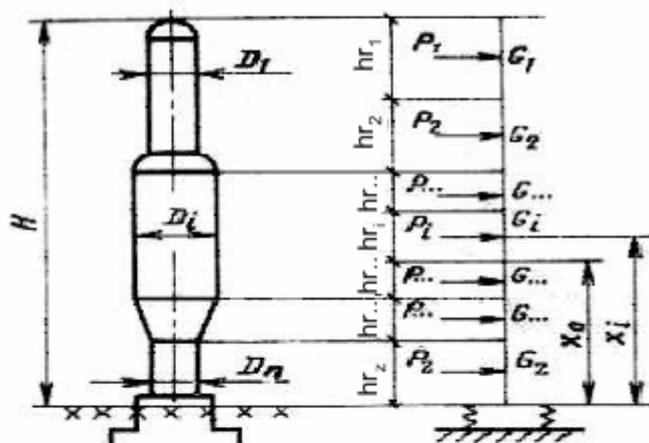
$$M_{ap} := G_v + Var = 3.99 \times 10^5 \quad \text{Н}$$

### 2.2.12. Расчет аппарата на ветровую нагрузку

Расчет согласно [13, стр. 685]

Высота аппарата:

**Расчетная схема аппарата колонного типа**



Исходные данные:

Все расчетные сечения и высоты выбираются в соответствие с расчетной схемой

Количество участков  $hr_z := 3$   
 Высота колонны  $H_k := 23.550$  м  
 Высота опоры  $H_{оп} := 3$  м

Разбиваем высоту колонны на участки

$H_1 := 5.550$  м  
 $H_2 := 9$  м  
 $H_3 := 9$  м  
 $H := H_1 + H_2 + H_3 = 23.55$  м

Высота опоры (конструктивно):

$h := 3$  м

Высота аппарата вместе с опорой:

$H_{ан} := h + H = 26.55$  м

Необходимость проведения расчета аппарата на ветровую нагрузку:

$K := \begin{cases} 5 & \text{if } H_{ан} < 10 \\ 1.5 & \text{otherwise} \end{cases}$

$Усл_{ветр} := \begin{cases} \text{"расчет на ветровые нагрузки необходим"} & \text{if } \frac{H_{ан}}{D} > K \\ \text{"расчет на ветровые нагрузки не обязателен"} & \text{otherwise} \end{cases}$

$Усл_{ветр} = \text{"расчет на ветровые нагрузки не обязателен"}$

Аппарат размещается на улице:

Тип расчетной схемы: ГОСТ 380-88

Расчет согласно [13]

$$\text{схема} := \begin{cases} \text{"схема аппарата в виде консольного стержня"} & \text{if } \frac{H_{\text{ан}}}{D} \geq 15 \\ \text{"в виде упруго защемленного стержня"} & \text{if } \frac{H_{\text{ан}}}{D} < 15 \end{cases}$$

схема = "в виде упруго защемленного стержня"

Условно разбиваем по высоте аппарат на три участка.

Высота участков колонны:

$$h_1 := 8.550 \text{ м} \quad h_2 := 9 \text{ м} \quad h_3 := 9 \text{ м}$$

Высота центров масс разбитых участков от фундамента:

$$x_3 := \frac{h_3}{2} = 4.5 \text{ м}$$

$$x_2 := h_3 + \frac{h_2}{2} = 13.5 \text{ м}$$

$$x_1 := h_3 + h_2 + \frac{h_1}{2} = 22.275 \text{ м}$$

Вес аппарата, заполненного жидкостью:

$$M_{\text{ар}} = 3.99 \times 10^5 \text{ Н}$$

Вес *i*. участков аппарата:

$$G_1 := 1.06 \cdot 10^6 \text{ Н} \quad G_5 := 1.193 \cdot 10^6 \text{ Н}$$

$$G_2 := 1.073 \cdot 10^5 \text{ Н}$$

$$G_3 := 1.193 \cdot 10^6 \text{ Н} \quad G_6 := 4.889 \cdot 10^5 \text{ Н}$$

$$G_4 := 1.193 \cdot 10^6 \text{ Н}$$

Определение периода собственных колебаний: (минимальный и максимальный)

Модуль упругости материала в рабочих условиях:

$$E := \text{Floor} \left[ \text{linterp} \left[ \begin{pmatrix} 100 \\ 200 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} 1.94 \cdot 10^5 \\ 1.86 \cdot 10^5 \end{pmatrix}, t_{\text{раб}}, 0.5 \right], 0.5 \right] = 1.9 \times 10^5 \text{ МПа}$$

Модуль упругости при гидроиспытаниях:

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

Прибавки к расчетным толщинам конструктивных элементов:

$$c := 0.0049 \quad \text{м}$$

Момент инерции верхнего основного металлического сечения аппарата относительно центральной оси:

$$I_1 := \left( \frac{\pi \cdot D_1^3}{8} \right) \cdot (s_1 - c) = 9.492 \quad \text{м}^4$$

Момент инерции нижнего основного металлического сечения аппарата относительно центральной оси:

$$I_2 := \left( \frac{\pi \cdot D_1^3}{8} \right) \cdot (s_1 - c) = 9.492 \quad \text{м}^4$$

Минимальный период собственных колебаний (пустой аппарат)

$$T_{\min} := 1.79 \cdot H \cdot \sqrt{\left( \frac{\text{Vap}}{g} \right) \cdot \frac{H}{E \cdot I_2}} = 18.087 \quad \text{с}$$

Максимальный период собственных колебаний:

$$T_{\max} := 1.79 \cdot H \cdot \sqrt{\left( \frac{\text{Vap}}{g} \right) \cdot \frac{H}{E \cdot I_2}} = 18.087 \quad \text{с}$$

скоростной напор ветра, согласно:

$$q_0 := 350 \quad \text{Н/м}^2$$

коэффициент  $\Theta_i$  для каждого участка:

$$\Theta_1 := \left( \frac{x_1}{10} \right)^{0.32} = 1.292 \quad \Theta_3 := \left( \frac{x_3}{10} \right)^{0.32} = 0.775$$

$$\Theta_2 := \left( \frac{x_2}{10} \right)^{0.32} = 1.101$$

Нормативное значение статической составляющей ветровой нагрузки на середине  $i$ -го участка аппарата:  $K_i := 0.7$

$$q_{1\text{ст}} := q_0 \cdot \Theta_1 \cdot K = 316.569 \quad \text{Н/м}^2$$

$$q_{2\text{ст}} := q_0 \cdot \Theta_2 \cdot K = 269.695 \quad \text{Н/м}^2$$

$$q_{3\text{ст}} := q_0 \cdot \Theta_3 \cdot K = 189.755 \quad \text{Н/м}^2$$

Толщина стенки аппарата, в местах соприкосновения с опорой:

$$s_2 := s_{\text{ст}} = 0.014 \quad \text{м}$$

Наружный диаметр участка:

$$D_{\text{нар1}} := D_1 + 2 \cdot s_{\text{ст}} = 1.228 \quad \text{м}$$

$$D_{\text{нар2}} := D_1 + 2 \cdot s_{\text{ст}} = 1.228 \quad \text{м}$$

Статическая составляющая ветровой нагрузки на каждом участке:

$$P_{1\text{ст}} := q_{1\text{ст}} \cdot D_{\text{нар1}} \cdot h_1 = 3.324 \times 10^3 \quad \text{Н/м}^2$$

$$P_{2\text{ст}} := q_{2\text{ст}} \cdot D_{\text{нар2}} \cdot h_2 = 2.981 \times 10^3 \quad \text{Н/м}^2$$

$$P_{3\text{ст}} := q_{1\text{ст}} \cdot D_{\text{нар2}} \cdot h_1 = 3.324 \times 10^3 \quad \text{Н/м}^2$$

$$P_{4\text{ст}} := q_{2\text{ст}} \cdot D_{\text{нар2}} \cdot h_2 = 2.981 \times 10^3 \quad \text{Н/м}^2$$

$$P_{5\text{ст}} := q_{1\text{ст}} \cdot D_{\text{нар2}} \cdot h_1 = 3.324 \times 10^3 \quad \text{Н/м}^2$$

$$P_{6\text{ст}} := q_{2\text{ст}} \cdot D_{\text{нар2}} \cdot h_2 = 2.981 \times 10^3 \quad \text{Н/м}^2$$

*Коэффициент динамичности:*

При минимальном периоде собственного колебания:

$$\varepsilon_1 := T_{\text{min}} \cdot \frac{\sqrt{q_0}}{790} = 0.428$$

$$\xi_1 := 1.1 + \sqrt{15.5 \cdot \varepsilon_1} = 3.677$$

При максимальном периоде собственного колебания:

$$\varepsilon_2 := T_{\text{max}} \cdot \frac{\sqrt{q_0}}{790} = 0.428$$

$$\xi_2 := 1.1 + \sqrt{15.5 \cdot \varepsilon_2} = 3.677$$

Коэффициент пульсаций скоростного напора:

$$m_1 := 0.76 \cdot \left(\frac{x_1}{10}\right)^{-0.15} = 0.674 \quad m_3 := 0.76 \cdot \left(\frac{x_3}{10}\right)^{-0.15} = 0.857$$

$$m_2 := 0.76 \cdot \left(\frac{x_2}{10}\right)^{-0.15} = 0.727$$

Коэффициент увеличения скорости напора:

При максимальной силе тяжести аппарата:

$$\beta_1 := 1 + \xi_2 \cdot m_1 = 3.478 \quad \beta_3 := 1 + \xi_2 \cdot m_3 = 4.15$$

$$\beta_2 := 1 + \xi_2 \cdot m_2 = 3.671$$

При минимальной силе тяжести аппарата:

$$\beta_7 := 1 + \xi_1 \cdot m_1 = 3.478 \quad \beta_9 := 1 + \xi_1 \cdot m_3 = 4.15$$

$$\beta_8 := 1 + \xi_1 \cdot m_2 = 3.671$$

Сила от ветровой нагрузки, действующая на каждый из участков аппарата:

При максимальной силе тяжести аппарата:

$$P_1 := 0.6 \cdot \beta_1 \cdot D_1 \cdot q_{1ст} \cdot x_1 = 1.766 \times 10^4 \quad \text{Н}$$

$$P_2 := 0.6 \cdot \beta_2 \cdot D_1 \cdot q_{2ст} \cdot x_2 = 9.624 \times 10^3 \quad \text{Н}$$

$$P_3 := 0.6 \cdot \beta_3 \cdot D_1 \cdot q_{3ст} \cdot x_3 = 2.551 \times 10^3 \quad \text{Н}$$

При минимальном весе аппарата:

$$P_7 := 0.6 \cdot \beta_7 \cdot D_1 \cdot q_{1ст} \cdot x_1 = 1.766 \times 10^4 \quad \text{Н}$$

$$P_8 := 0.6 \cdot \beta_8 \cdot D_1 \cdot q_{2ст} \cdot x_2 = 9.624 \times 10^3 \quad \text{Н}$$

$$P_9 := 0.6 \cdot \beta_9 \cdot D_1 \cdot q_{3ст} \cdot x_3 = 2.551 \times 10^3 \quad \text{Н}$$

Изгибающий момент от ветровой нагрузки на аппарат относительно основания при максимальной силе тяжести аппарата:

При максимальной силе тяжести аппарата:

$$M_{B1} := P_1 \cdot x_1 = 3.933 \times 10^5 \quad \text{Н} \cdot \text{м}$$

$$M_{B2} := P_2 \cdot x_2 = 1.299 \times 10^5 \quad \text{Н} \cdot \text{м}$$

$$M_{B3} := P_3 \cdot x_3 = 1.148 \times 10^4 \quad \text{Н} \cdot \text{м}$$

$$M_{B\_max} := M_{B1} + M_{B2} + M_{B3} = 5.347 \times 10^5 \quad \text{Н} \cdot \text{м}$$

При минимальной силе тяжести аппарата:

$$M_{B7} := P_7 \cdot x_1 = 3.933 \times 10^5 \quad \text{Н} \cdot \text{м}$$

$$M_{B8} := P_8 \cdot x_2 = 1.299 \times 10^5 \quad \text{Н} \cdot \text{м}$$

$$M_{B9} := P_9 \cdot x_3 = 1.148 \times 10^4 \quad \text{Н} \cdot \text{м}$$

$$M_{B\_min} := M_{B7} + M_{B8} + M_{B9} = 5.347 \times 10^5 \quad \text{Н} \cdot \text{м}$$

### 2.2.14. Расчетные размеры опорного кольца:

$k_0$  - коэффициент, определяемый графически и зависящий от диаметра аппарата,  $k_0 := 0.15$ ;

Внутренний расчетный диаметр кольца:

$$D_{1в} := D_1 \cdot (1 - 0.65 \cdot k_0) = 1.083 \quad \text{м}$$

Наружный диаметр кольца:

$$D_{3в} := D_1 \cdot (1 + 1.35 \cdot k_0) = 1.443 \quad \text{м}$$

Опорная площадь кольца:

$$F_k := \left( \frac{\pi \cdot D_{3в}^2}{4} \right) - \left( \frac{\pi \cdot D_{1в}^2}{4} \right) = 0.714 \quad \text{м}^2$$

Ширина фундаментного кольца:

$$L_{\phi} := \frac{(D_{3в} - D_{1в})}{2} = 0.18 \quad \text{м}$$

Момент инерций фундаментного кольца:

$$I_k := \frac{\pi \cdot D_1^3}{8} \cdot L_{\phi} = 0.122 \quad \text{м}^4$$

Момент инерций подошвы фундамента относительно центральной оси:

$$I_{\phi} := 1.3 \cdot I_k = 0.159 \quad \text{м}^4$$

Момент сопротивления опорной площадки кольца:

$$W_k := \frac{\pi}{32} \cdot \left( \frac{D_{3в}^4 - D_{1в}^4}{D_{3в}} \right) = 0.201 \quad \text{м}^3$$

$$Var := 1.328 \cdot 10^4$$

Максимальное напряжение сжатие на опорной поверхности опорного кольца:

$$\sigma_{\max} := \frac{Var}{F_k} = 1.86 \times 10^4 \quad \text{Па}$$

Допускаемая удельная нагрузка на опорной поверхности:

$$q_d := 23 \cdot 10^6 \quad \text{Па}$$

Проверка выполнения условий:

$$U_{\text{расчета}} := \begin{cases} \text{"Не требуется вносить изменения"} & \text{if } \sigma_{\max} \leq q_d \\ \text{"Внести изменения в размеры внутреннего кольца"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$U_{\text{расчета}} = \text{"Не требуется вносить изменения"}$$

Временное сопротивление материала 09Г2С

$$\sigma_B := 500 \cdot 10^6 \quad \text{Па}$$

Предел выносливости:

$$\sigma_{-1} := 0.44 \cdot \sigma_B = 2.2 \times 10^8 \quad \text{Па}$$

Номинальная расчетная толщина опорного кольца:

$$l := \frac{D_{3B} - D_1}{2} = 0.122 \quad \text{м}$$

$$s_{Kk} := 1.73 \cdot l \cdot \sqrt{\frac{\sigma_{\max}}{\sigma_{-1}}} = 1.933 \times 10^{-3} \quad \text{м}$$

Принимаем толщину опорного кольца (конструктивно):

$$s_{Kk} := 0.002 \quad \text{м}$$

Расчет на устойчивость аппарата против опрокидывания от ветровой нагрузки:

$$\sigma := \max\left(\frac{\text{Var}}{F_k} + \frac{M_{B\_max}}{W_k}, \frac{\text{Var}}{F_k} - \frac{M_{B\_min}}{W_k}\right) = 2.675 \times 10^6 \quad \text{Па}$$

Общая условная расчетная нагрузка на фундаментные болты:

$$P_{\sigma} := 0.785 \cdot (D_{3B}^2 - D_{1B}^2) \cdot \sigma = 1.91 \times 10^6 \quad \text{Па}$$

Количество анкерных болтов (Задаем конструктивно):

$$n_b := 24$$

Нагрузка на один болт:

$$P_{\sigma 1} := \frac{P_{\sigma}}{n_b} = 7.957 \times 10^4 \quad \text{Па}$$

Расчетный внутренний диаметр резьбы болта:

Материал для болта Сталь 09Г2С при температуре 20 градусов.

$$\sigma_b := 196 \cdot 10^6 \quad \text{Па}$$

Расчетный диаметр болтов:

$$d_{\text{рас\_болт}} := \sqrt{\frac{4 \cdot P_{\sigma 1}}{\pi \cdot \sigma_b}} + c = 0.028 \quad \text{м}$$

Принимаем стандартный диаметр болта:

$$d_b := 0.03 \quad \text{м}$$

Расчетный диаметр болтовой окружности:

$$D_{2B} := (D_1 + 2 \cdot s_{CT} + 4 \cdot d_b) = 1.348 \quad \text{м}$$

### 3.1.1 Расчет конденсатора кожухотрубчатого теплообменника

Стабильный конденсат с температурой 200 °С поступает в межтрубное пространство теплообменника, проходя по межтрубному пространству газ охлаждается до 60 °С конденсата газа. Нестабильный конденсат газ проходит по трубному пространству теплообменника поступая с температурой 30 °С нестабильный конденсат газа нагревается до 100 °С за счет теплообмена между двумя теплоносителями. Теплоносители движутся противотоком, что обеспечивает более интенсивный теплообмен.

Холодный теплоноситель: нестабильный конденсат газа.

Горячий теплоноситель: стабильный конденсат газа.

Горячий теплоноситель проходит по межтрубному пространству теплообменника.

Холодный теплоноситель проходит по трубному пространству теплообменника.

#### Исходные данные:

Рабочее давление в межтрубном пространстве теплообменника:

$$P_1 := 1.6 \text{ МПа}$$

Рабочее давление в трубном пространстве теплообменника:

$$P_2 := 2.2 \text{ МПа}$$

Начальная температура горячего теплоносителя :

$$t_{1H} := 200 \text{ °С}$$

Конечная температура горячего теплоносителя :

$$t_{1K} := 60 \text{ °С}$$

Начальная температура холодного теплоносителя :

$$t_{2H} := 30 \text{ °С}$$

Конечная температура холодного теплоносителя :

$$t_{2K} := 100 \text{ °С}$$

Массовый расход холодного теплоносителя:

$$G_2 := 10.2 \frac{\text{кг}}{\text{с}}$$

### 3.1.2 Технологический расчет:

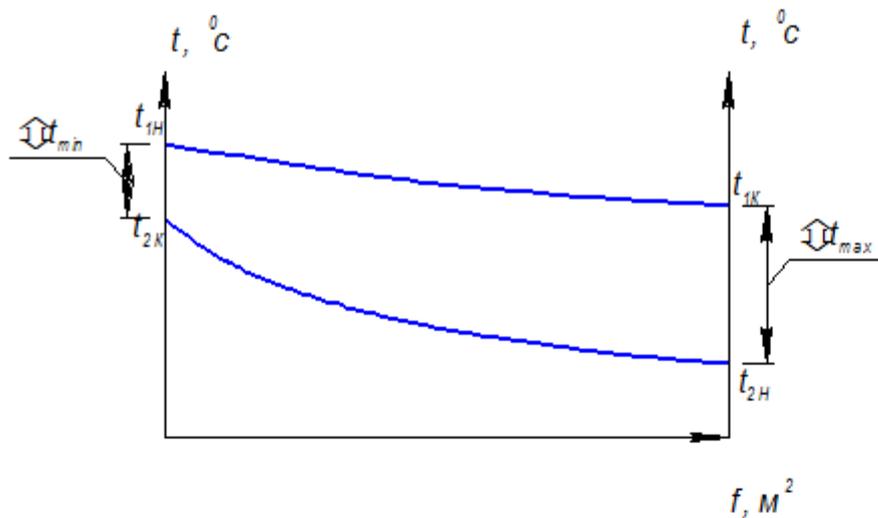


Рисунок 3.1.1 Диаграмма изменение температуры теплоносителей при движении противотоком

Расчет проводим согласно [1, стр. 214]

Большая и меньшая разность температур на концах теплообменника:

$$\Delta t_M := t_{1K} - t_{2H} = 30 \quad ^\circ\text{C}$$

$$\Delta t_6 := t_{1H} - t_{2K} = 100 \quad ^\circ\text{C}$$

Средняя разность температур входящая в уравнение теплоотдачи:

Для противотока:

$$\Delta t_{cp} := \begin{cases} \Delta t_{cp} \leftarrow \frac{\Delta t_6 + \Delta t_M}{2} & \text{if } \frac{\Delta t_6}{\Delta t_M} < 2 \\ \Delta t_{cp} \leftarrow \frac{\Delta t_6 - \Delta t_M}{\ln\left(\frac{\Delta t_6}{\Delta t_M}\right)} & \text{if } \frac{\Delta t_6}{\Delta t_M} \geq 2 \end{cases} = 58.141 \quad ^\circ\text{C}$$

Определение средних температур теплоносителя в трубном пространстве.

$$t_{cp2} := \frac{t_{2K} + t_{2H}}{2} = 65 \quad ^\circ\text{C}$$

Средняя температура для горячего теплоносителя в межтрубном пространстве.

$$t_{cp1} := \Delta t_{cp} + t_{cp2} = 123.141 \quad ^\circ\text{C}$$

Таблица 3.1.1 компонентный состав нестабильного конденсата

Наименование	Сод. % мас.
Азот (N)	3
Метан (CH <sub>4</sub> )	24
Диоксид углерода (CO <sub>2</sub> )	7
Этан (C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> )	35
Пропан (C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> )	25
Метанол (CH <sub>3</sub> OH)	6

Теплоемкость смеси  $C_c := 2.1 \cdot 10^3 \text{ Дж/кг}\cdot\text{K}$

Плотность смеси в трубном пространстве  $\rho_{CT} := 548.8 \text{ кг/м}^3$

Теплоемкость смеси в трубном пространстве  $C_{cmt} := 2.8 \cdot 10^3 \text{ Дж/кг}\cdot\text{K}$

Находим количество теплоты в трубном пространстве

$$Q_{\min} := G_2 \cdot C_c \cdot (t_{2K} - t_{2H}) = 1.499 \times 10^6$$

находим массовый расход межтрубном пространстве с учетом потерь холода 5% (из уравнения теплового баланса):

$$Q_{\max} := Q_{\min}$$

$$G_{\text{меж}} := \frac{1.05 \cdot Q_{\max}}{C_{cmt} \cdot (t_{1H} - t_{1K})} = 4.016 \text{ кг/с}$$

Задаемся коэффициентом K:

$$K_{\min} := 120 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{K}}$$

$$K_{\max} := 270 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{K}}$$

Ориентировочное значение площади поверхности теплообмена:

$$F_{\min} := \frac{Q_{\min}}{\Delta t_{cp} \cdot K_{\min}} = 214.909 \text{ м}^2$$

$$F_{\max} := \frac{Q_{\max}}{\Delta t_{cp} \cdot K_{\max}} = 95.515 \text{ м}^2$$

$$\Delta F := \frac{(F_{\min} + F_{\max})}{2} = 155.21 \text{ м}^2$$

Определяем диаметр труб:

Диаметр труб в трубной решетке 25x2 мм

Внутренний диаметр труб в трубной решетке:  $d_B := 0.021$

Наружный диаметр труб:

толщина стенки трубы:  $s_{TD} := 0.002$  м

Расчетная скорость теплоносителя нестабильного конденсата в трубах:

$$\omega_2 := 1.2 \text{ м/с}$$

### 3.1.3 Конструктивный расчет теплообменника:

Расчет проводим по [2]

По уравнению расхода определим площадь проходного сечения трубок одного хода:

$$f_1 := \frac{G_2}{\omega_2 \cdot \rho_{CT}} = 0.015 \text{ м}^2$$

Число труб одного хода:

$$n_{\text{тр}} := \text{ceil}\left(\frac{f_1}{0.785 \cdot d_B^2}\right) = 45 \text{ труб}$$

Принимаем стандартное число труб одного хода в теплообменнике:

Коэффициент теплоотдачи нестабильного конденсат выше чем у воздуха:

коэффициент теплоотдачи в трубном пространстве:  $\alpha_1$

коэффициент теплоотдачи в межтрубном пространстве:  $\alpha_2$

При  $\alpha_1 > \alpha_2$  диаметр расчетный:  $d_p := d_H$

Расчетная длина одной трубки при одном ходе:

$$L_p := \text{ceil}\left(\frac{F_{\text{max}}}{\pi \cdot d_p \cdot n_{\text{тр}}}\right) = 28 \text{ м}$$

Принимаем рабочую трубу теплообменника:

$$l_p := 6 \text{ м}$$

Число ходов трубного пространства:

$$Z := \text{ceil}\left(\frac{L_p}{l_p}\right) = 5 \text{ ход}$$

подбираем число ходов по стандартным параметрам теплообменников

$$\underline{Z} := 4$$

Общее число труб, размещаемое на трубной решетке:

$$n := Z \cdot n_{\text{ТД}} = 180 \quad \text{трубы}$$

Трубы размещаются по периметру правильного шестиугольника:

Число труб  $a$ , расположенное на стороне наибольшего шестиугольника:

$$a := \text{ceil} \left[ \frac{1 + \sqrt{1 - 4 \cdot \left( \frac{1-n}{3} \right)}}{2} \right] = 9 \quad \text{труб}$$

Число труб, расположенных по диагонали наибольшего шестиугольника:

$$b := 2 \cdot a - 1 = 17 \quad \text{труб}$$

$$d_{\text{н}} := 25 \quad \text{мм}$$

Шаг расположения труб:

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

Коэффициент заполнения трубной решетки:

$$\eta := 0.8$$

Расчетный диаметр теплообменника, четырехходовой

$$D_{\text{ВН}} := 1.1 \cdot t \cdot \sqrt{\frac{n}{\eta}} = 528 \quad \text{мм}$$

Поверхностная плотность теплового потока:

$$q := K_{\text{max}} \cdot \Delta t_{\text{ср}} = 1.57 \times 10^4 \quad \text{Вт/м}^2$$

Расчетная площадь поверхности теплопередачи:

$$F_{\text{р}} := \frac{Q_{\text{max}}}{q} = 95.515 \quad \text{м}^2$$

С запасом 20%:

$$F_{\text{рз}} := \frac{F_{\text{р}} \cdot 20}{100} + F_{\text{р}} = 114.618 \quad \text{м}^2$$

*Подберем стандартный теплообменник: согласно [1]*

Основные характеристики четырехходового теплообменника ТГ:

Диаметр теплообменника:  $D := 0.6 \quad \text{м}$

Длина труб  $l := 6 \quad \text{м}$

Поверхность теплообмена:  $F := 97 \quad \text{м}^2$

Число труб:  $n := 206 \quad \text{трубы}$

Диаметр трубы внутренний:  $d_{\text{в}} := 0.021 \quad \text{м}$

толщина стенки трубы:  $s_{\text{ТД}} := 0.002 \quad \text{м}$

Число рядов труб:  $n_{\text{р}} := 20$

### 3.2.1 Механический расчет теплообменника

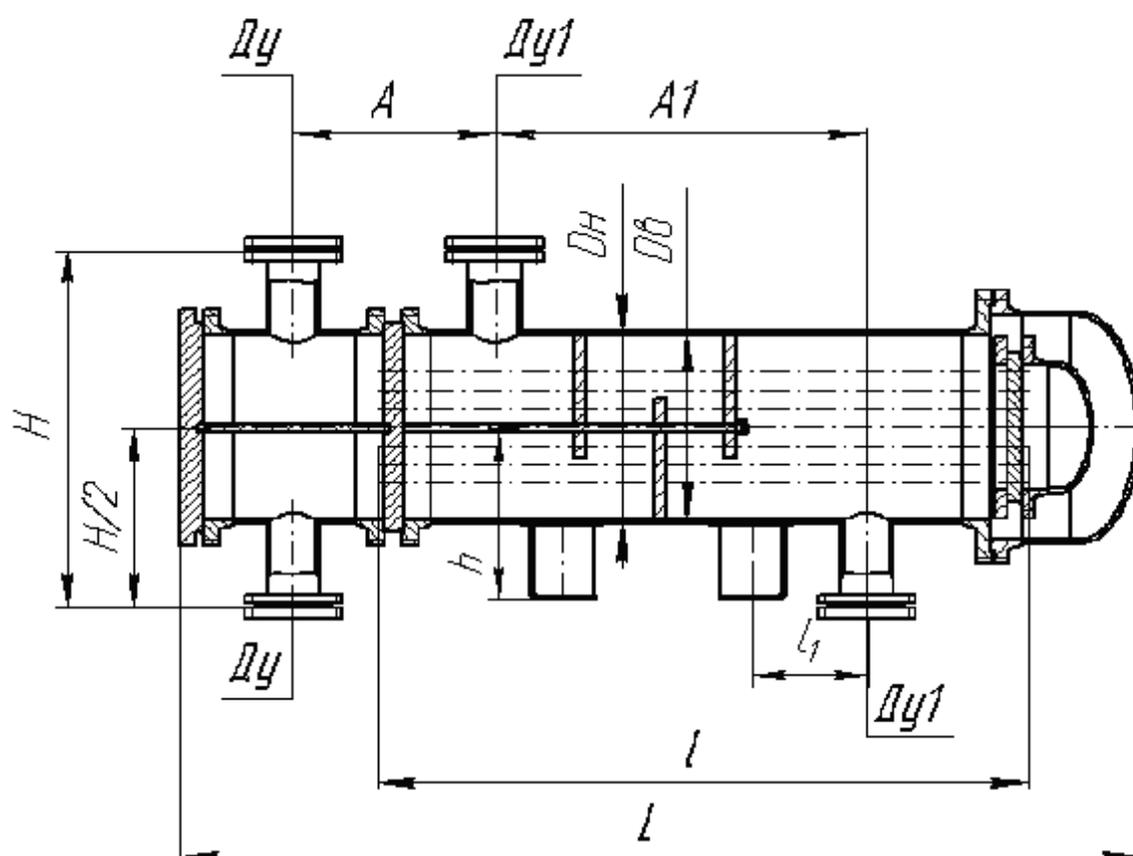


Рисунок 3.2.1 Горизонтальный Теплообменник.

Рассчитываем теплообменник типа кожухотрубчатый, горизонтального исполнения.

холодный теплоноситель: нестабильный конденсат газа.

горячий теплоноситель: стабильный конденсат газа.

Горячий теплоноситель проходит по межтрубному пространству теплообменника.

Холодный теплоноситель проходит по трубному пространству теплообменника.

Исходные данные:

Внутренний диаметр аппарата, мм

$D := 600$

Рабочее давление в кожухе, МПа

$P_1 := 1.6$

Рабочее давление в трубном пространстве, МПа

$P_2 := 2.2$

Расчетная температура кожуха аппарата, °C

$t_1 := 200$

Расчетная температура труб аппарата, °C  $t_2 := 100$

Ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>  $g := 9.8$

Число труб:  $n := 206$  трубы [1, стр. 215]

Основные размеры теплообменника:

Длина цилиндрической обечайки, мм:  $l := 5750$

Длина аппарата, мм  $L := 6995$

Длина неотбортованной крышки, согласно [2, стр. 440]

$h_B := 150$  мм

Длина отбортовки крышки: [2, стр. 440]

$h := 50$  мм

Длина распределительной камеры:

$H_{рас} := 640$  мм

Коэффициент прочности сварных швов (Сварка аппарата полуавтоматическая):  
длина шва 100% (Назначили конструктивно) согласно [3]

$\varphi := 1$

Подбираем материал для теплообменника согласно [4]

Исполнение по материалу М17.

Таблица 3.2.1 Материальное исполнение основных узлов теплообменника.

Исполнение по материалу	Кожух	Распред-камера	Теплообменная труба	Трубная решетка
М17	09г2с	09г2с	09г2с	09г2с

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.

Сталь 09г2с применяют в химическом и нефтяном машиностроении, судостроении.

Допускаемое напряжение материала кожуха 09г2с при температуре 20 градусов (температура гидроиспытаний): [3, стр. 15]

$\sigma_{тек20\_1} := 300$  МПа

коэффициент запаса по пределу текучести для условий испытаний:

$n_t := 1.1$

Поправочный коэффициент  $\eta$ :

$$\eta := 1$$

Допускаемое напряжение для условий испытаний:

$$\sigma_{и20\_1} := \text{ceil}\left(\eta \cdot \frac{\sigma_{\text{тек}20\_1}}{n_t}\right) = 273 \quad \text{МПа}$$

Допускаемое напряжение материала 09г2с при рабочей температуре кожуха

$$t_1 := 200 \text{ } ^\circ\text{C}: [3, \text{стр. 10}]$$

$$\sigma_{д200} := 177 \quad \text{МПа}$$

Допускаемое напряжение материала 09г2с при рабочей температуре кожуха

$$t_1 = 200 \text{ } ^\circ\text{C}: [3, \text{стр. 10}]$$

$$\sigma_{д60} := \text{Floor}\left[\text{linterp}\left[\left(\begin{array}{c} 20 \\ 200 \end{array}\right), \left(\begin{array}{c} 196 \\ 177 \end{array}\right), t_2\right], 0.5\right] = 187.5 \quad \text{МПа}$$

Допускаемое напряжение материала труб 09г2с при температуре 20 градусов (температура гидроиспытаний): [3, стр.15]

$$\sigma_{\text{тек}20\_2} := 300 \quad \text{МПа}$$

Допускаемое напряжение для условий испытаний:

$$\sigma_{и20\_2} := \text{ceil}\left(\eta \cdot \frac{\sigma_{\text{тек}20\_2}}{n_t}\right) = 273 \quad \text{МПа}$$

Допускаемое напряжение материала 09г2с при рабочей температуре труб

$$t_2 = 100 \text{ } ^\circ\text{C} [3, \text{стр. 10}]$$

$$\sigma_{д60т} := \text{Floor}\left[\text{linterp}\left[\left(\begin{array}{c} 20 \\ 100 \end{array}\right), \left(\begin{array}{c} 196 \\ 177 \end{array}\right), t_2\right], 0.5\right] = 177 \quad \text{МПа}$$

Прибавки к расчетным толщинам конструктивных элементов:

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

Скорость коррозии материала аппарата:

$$П := 0.1 \quad \text{мм /год}$$

Срок эксплуатации аппарата:

$$\tau := 20 \quad \text{лет}$$

Прибавка для компенсации коррозии и эрозии:

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

Прибавка для компенсации минусового допуска;

$$c_2 := 0.3 \quad \text{мм}$$

Технологическая прибавка;

$$c_3 := 0.7 \quad \text{мм}$$

Прибавки к расчетным толщинам конструктивных элементов:

$$c := c_1 + c_2 + c_3 = 3 \quad \text{мм}$$

### 3.2.2 Расчет давлений

Определить гидростатическое давление в аппарате:

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

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

Высоту гидростатического столба в аппарате принимаем равной диаметру аппарата.

$$H_{\text{гид}} := \frac{D}{1000} = 0.6 \quad \text{м}$$

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

$$P_{\text{гид}} := \frac{g \cdot H_{\text{гид}} \cdot \rho_{\text{вод}}}{10^6} = 5.868 \times 10^{-3} \quad \text{МПа}$$

*Давление в трубном пространстве:*

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

$$P_{\text{рас2}} := (P_2 + P_{\text{гид}}) = 2.206 \quad \text{МПа}$$

Давление при гидраиспытаниях [4]:

$$P_{\text{и2}} := 1.25 \cdot P_{\text{рас2}} \cdot \frac{\sigma_{\text{и20}_2}}{\sigma_{\text{Л60т}}} = 4.253 \quad \text{МПа}$$

Условное давление:

$$P_{\text{усл2}} := P_{\text{рас2}} \cdot \frac{\sigma_{\text{и20}_2}}{\sigma_{\text{Д60т}}} = 3.402 \quad \text{МПа}$$

*Давление в межтрубном пространстве:*

Расчетное давление:

$$P_{\text{рас1}} := (P_1 + P_{\text{гид}}) = 1.606 \quad \text{МПа}$$

Давление при гидраиспытаниях: [1]

$$P_{\text{и1}} := 1.25 \cdot P_{\text{рас1}} \cdot \frac{\sigma_{\text{и20}_1}}{\sigma_{\text{Д200}}} = 3.096 \quad \text{МПа}$$

Условное давление: (межтрубного пространства)

$$P_{\text{усл1}} := P_{\text{рас1}} \cdot \frac{\sigma_{\text{и20}_1}}{\sigma_{\text{Д200}}} = 2.477 \quad \text{МПа}$$

*Давление в распределительной камере:*

Расчетное давление:

$$P_{рас3} := (P_2 + P_{гид}) = 2.206 \quad \text{МПа}$$

Давление при гидраиспытаниях: [1]

$$P_{из} := 1.25 \cdot P_{рас3} \cdot \frac{\sigma_{и20\_1}}{\sigma_{д60}} = 4.015 \quad \text{МПа}$$

Условное давление: (в распределительной камере)

$$P_{усл3} := P_{рас3} \cdot \frac{\sigma_{и20\_1}}{\sigma_{д60}} = 3.212 \quad \text{МПа}$$

### 3.2.3. Расчет толщины стенки цилиндрической обечайки (кожуха):

Расчет проводим [5, стр. 5]

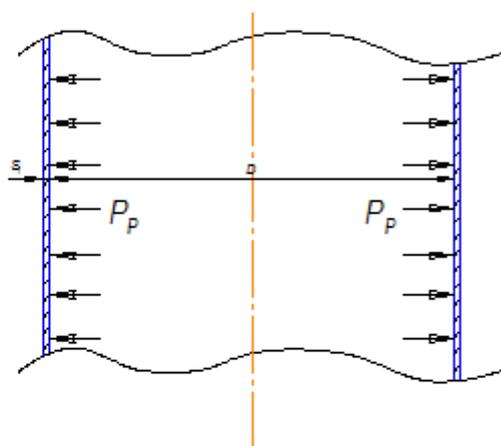


Рисунок 3.2.2 - Расчетная схема обечайки.

Расчетная толщина стенки цилиндрической обечайки при внутреннем избыточном давлении:

$$s_{p1} := \max \left( P_{рас1} \cdot \frac{D}{2 \cdot \varphi \cdot \sigma_{д200} - P_{рас1}}, P_{и1} \cdot \frac{D}{2 \cdot \varphi \cdot \sigma_{и20\_1} - P_{и1}} \right) = 3.422 \quad \text{мм}$$

Исполнительная толщина стеки аппарата:

$$s_{и1} := s_{p1} + c = 6.422 \quad \text{мм}$$

Принимаем толщину для корпуса аппарата:

$$s_1 := 10 \quad \text{мм}$$

Проверка условий применимости формул без моментной теории:

$$Usl\_3 := \begin{cases} \text{"Формулы применимы"} & \text{if } \frac{s_1 - c}{D} \leq 0.1 \\ \text{"Формул НЕ верны"} & \text{if } \frac{s_1 - c}{D} > 0.1 \end{cases} = \text{"Формулы применимы"}$$

Расчет допускаемого внутреннего избыточного давления при рабочих условиях:

$$P_{д1} := \frac{2 \cdot \sigma_{д200} \cdot \varphi \cdot (s_1 - c)}{D + (s_1 - c)} = 4.082 \quad \text{МПа}$$

Расчет допускаемого внутреннего избыточного давления при условиях испытаний:

$$P_{д2} := \frac{2 \cdot \sigma_{и20\_1} \cdot \varphi \cdot (s_1 - c)}{D + (s_1 - c)} = 6.297 \quad \text{МПа}$$

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

$$Usl\_4 := \begin{cases} \text{"Усл. выполняется"} & \text{if } P_{д1} > P_{рас1} \\ \text{"Усл.НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases} = \text{"Усл. выполняется"}$$

$$P_{д1} = 4.082 \quad \text{МПа} \quad P_{рас1} = 1.606 \quad \text{МПа}$$

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

$$Usl\_5 := \begin{cases} \text{"Усл. выполняется"} & \text{if } P_{д2} > P_{и1} \\ \text{"Усл. НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases} = \text{"Усл. выполняется"}$$

$$P_{д2} = 6.297 \quad \text{МПа} \quad P_{и1} = 3.096 \quad \text{МПа}$$

*Расчет толщины стенки распределительной камеры:*

Расчетная толщина стенки цилиндрической обечайки при внутреннем избыточном давлении:

$$s_{p2} := \max \left( \left( \begin{array}{l} P_{рас3} \cdot \frac{D}{2 \cdot \varphi \cdot \sigma_{д60} - P_{рас3}} \\ P_{и3} \cdot \frac{D}{2 \cdot \varphi \cdot \sigma_{и20\_1} - P_{и3}} \end{array} \right) \right) = 4.444 \quad \text{мм}$$

Исполнительная толщина стеки аппарата:

$$s_{и2} := s_{p2} + c = 7.444 \quad \text{мм}$$

Принимаем толщину для распределительной камеры:

$$s_2 := 14 \quad \text{мм}$$

Проверка условий применимости формул без моментной теории:

$$Usl\_6 := \begin{cases} \text{"Усл. применения ф.без момент. т. выполняются"} & \text{if } \frac{s_2 - c}{D} \leq 0.1 \\ \text{"Усл. применения ф.НЕ выполняются"} & \text{if } \frac{s_2 - c}{D} > 0.1 \end{cases}$$

$$Usl\_6 = \text{"Усл. применения ф.без момент. т. выполняются"}$$

Расчет допускаемого внутреннего избыточного давления при рабочих условиях:

$$P_{д3} := \frac{2 \cdot \sigma_{д60} \cdot \varphi \cdot (s_2 - c)}{D + (s_2 - c)} = 6.751 \quad \text{МПа}$$

Расчет допускаемого внутреннего избыточного давления при условиях испытаний:

$$P_{д4} := \frac{2 \cdot \sigma_{и20\_1} \cdot \varphi \cdot (s_2 - c)}{D + (s_2 - c)} = 9.83 \quad \text{МПа}$$

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

$$Usl\_7 := \begin{cases} \text{"Усл. прочности выполняется"} & \text{if } P_{д3} > P_{рас3} \\ \text{"Усл. прочности НЕ выполняется"} & \text{if } P_{д3} < P_{рас3} \end{cases}$$

**Usl\_7 = "Усл. прочности выполняется"**

$$P_{д3} = 6.751 \quad \text{МПа} \quad P_{рас3} = 2.206 \quad \text{МПа}$$

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

$$Usl\_8 := \begin{cases} \text{"Усл. прочности стенки выполняется"} & \text{if } P_{д4} > P_{и3} \\ \text{"Усл. прочности НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

**Usl\_8 = "Усл. прочности стенки выполняется"**

$$P_{д4} = 9.83 \quad \text{МПа} \quad P_{и3} = 4.015 \quad \text{МПа}$$

### 3.2.4 Определение температурных напряжений в трубах и корпусе:

Коэффициент линейного расширения кожуха материал 09г2с при  $t_1 = 200 \text{ } ^\circ\text{C}$ : [3, стр. 23]

$$\alpha_1 := 14 \cdot 10^{-6} \quad 1/^\circ\text{C}$$

Коэффициент линейного расширения трубы при  $t_2 = 100 \text{ } ^\circ\text{C}$ : материал 09г2с1 [3, стр. 23]

$$\alpha_2 := 13 \cdot 10^{-6} \quad 1/^\circ\text{C}$$

Модуль упругости для кожуха: [3]

$$E_1 := 1.81 \cdot 10^5 \quad \text{МПа}$$

Модуль упругости для труб: [3]

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

Средняя температура труб:

$$t_T := \frac{t_1 + t_2}{2} = 150 \quad ^\circ\text{C}$$

Средняя температура кожуха аппарата:

$$t_K := t_1 = 200 \quad ^\circ\text{C}$$

температурная разность кожуха и труб:

$$\Delta t := t_K - t_T = 50 \quad ^\circ\text{C}$$

Площадь поперечного сечения всех труб: количество труб  $n := 206$  [1, стр. 215]

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

$$F_T := \frac{\pi \cdot n \cdot (d_H^2 - d_B^2)}{4} = 0.03 \quad \text{м}^2$$

Площадь поперечного сечения кожуха:

$$F_K := \frac{\pi \cdot [(0.6 + 2 \cdot 0.01)^2 - 0.6^2]}{4} = 0.019 \quad \text{м}^2$$

Температурные деформации:

$$Q_t := \left| \frac{(\alpha_2 \cdot t_T - \alpha_1 \cdot t_K) \cdot E_1 \cdot E_2 \cdot F_T \cdot F_K}{E_1 \cdot F_T + E_2 \cdot F_K} \right| = 1.853 \quad \text{МПа}$$

Температурные напряжения в трубах и корпусе:

$$\sigma_T := \left| \frac{\alpha_1 \cdot t_1 \cdot E_1 \cdot F_K}{F_T + F_K} \right| = 198.477 \quad \text{МПа}$$

$$\sigma_K := \left| \frac{\alpha_2 \cdot t_2 \cdot E_2 \cdot F_T}{F_T + F_K} \right| = 151.059 \quad \text{МПа}$$

Условия температурных деформаций:

$$Usl\_1 := \begin{cases} \text{"Условия выполняются"} & \text{if } \sigma_{Д60Т} \geq \sigma_T \\ \text{"Условия не выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases} = \text{"Условия не выполняются"}$$

$$Usl\_2 := \begin{cases} \text{"Условия выполняются"} & \text{if } \sigma_{Д200} \geq \sigma_K \\ \text{"Условия не выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases} = \text{"Условия выполняются"}$$

Подбираем аппарат с плавающей трубной решеткой.

Теплообменник с плавающей головкой 600 **ХП-1,8-М17/25-6-4-У-И** по ТУ 3612-023-00220302-01

600 – диаметр кожуха, мм; ТП- теплообменник с плавающей головкой; 1,6 – 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.

### 3.2.5 Расчет толщины стенки крышка корпуса:

Расчет плоской крышки

Принимаем  $\varphi_0=0,4$

$$\varphi_0 := 0.4$$

$$s_{d1} := 0.45 \cdot D \cdot \sqrt{\frac{P_{рас3}}{\sigma_{и20\_1}}} = 24.27 \quad \text{мм}$$

$$s_d := s_{d1} + c = 27.27$$

Принимаем толщину плоской крышки равной:  $s_d := 60$  мм

Проверка условий применимости формул без моментной теории:

$$Us1\_9 := \begin{cases} \text{"Усл. формул выполняются"} & \text{if } 0.002 \leq \frac{s_d - c}{D} \leq 0.1 \\ \text{"Усл. формул НЕ выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

**Us1\_9 = "Усл. формул выполняются"**

Расчет допускаемого внутреннего избыточного давления при рабочих условиях:

$$P_{д5} := \frac{2 \cdot \sigma_{д60} \cdot \varphi \cdot (s_d - c)}{D + (s_d - c)} = 32.534 \quad \text{МПа}$$

Расчет допускаемого внутреннего избыточного давления при условий гидроиспытаний:

$$P_{д6} := \frac{2 \cdot \sigma_{и20\_1} \cdot \varphi \cdot (s_d - c)}{D + (s_d - c)} = 47.37 \quad \text{МПа}$$

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

$$Us1\_10 := \begin{cases} \text{"Усл. прочности стенки днища выполняется"} & \text{if } P_{д5} > P_{рас3} \\ \text{"Усл. прочности НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

**Us1\_10 = "Усл. прочности стенки днища выполняется"**

$$P_{д5} = 32.534 \quad \text{МПа} \quad P_{рас3} = 2.206 \quad \text{МПа}$$

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

Usl\_11 :=  $\begin{cases} \text{"Усл. прочности стенки днища выполняется"} & \text{if } P_{д6} > P_{из} \\ \text{"Усл. прочности НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$

Usl\_11 = "Усл. прочности стенки днища выполняется"

$P_{д6} = 47.37$  МПа     $P_{из} = 4.015$  МПа

Расчет толщины стенки крышки со стороны плавающей головки:

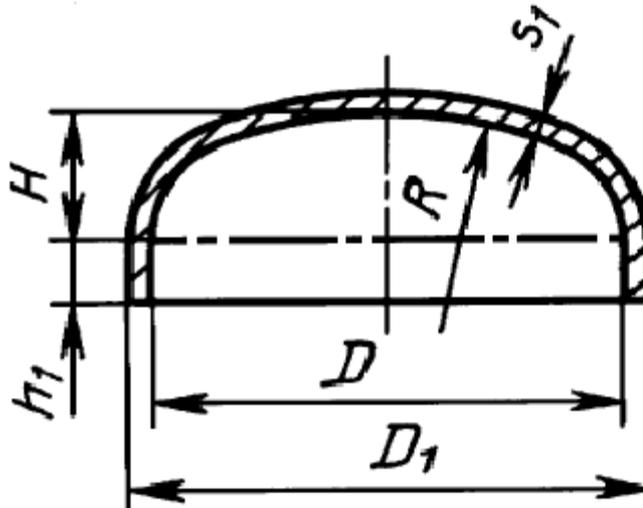


Рисунок 3.2.3 - Крышка эллиптическая отбортованная стальная со стороны плавающей головки

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

$R_2 := 900$  мм

Расчет толщины стенки крышки под действием внутреннего давления:

$$s_{p4} := \max \left( \begin{array}{l} P_{рас1} \cdot \frac{R_2}{2 \cdot \varphi \cdot \sigma_{Д200} - 0.5 \cdot P_{рас1}} \\ P_{и1} \cdot \frac{R_2}{2 \cdot \varphi \cdot \sigma_{и20\_1} - 0.5 \cdot P_{и1}} \end{array} \right) = 5.118 \quad \text{мм}$$

Исполнительная толщина стеки аппарата:

$s_{и4} := s_{p4} + c = 8.118$  мм

Принимаем толщину днища:

$s_4 := 14$  мм

Проверка условий применимости формул без моментной теории:

Usl\_12 :=  $\begin{cases} \text{"Усл. формул выполняются"} & \text{if } 0.002 \leq \frac{s_4 - c}{900} \leq 0.1 \\ \text{"Усл. формул НЕ выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$

Usl\_12 = "Усл. формул выполняются"

Расчет допустимого внутреннего избыточного давления при рабочих условиях:

$$P_{д7} := \frac{2 \cdot \sigma_{д200} \cdot \varphi \cdot (s_4 - c)}{R_2 + (s_4 - c)} = 4.274 \quad \text{МПа}$$

Расчет допустимого внутреннего избыточного давления при условий гидроиспытаний:

$$P_{д8} := \frac{2 \cdot \sigma_{и20\_1} \cdot \varphi \cdot (s_4 - c)}{R_2 + (s_4 - c)} = 6.593 \quad \text{МПа}$$

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

$$Usl\_13 := \begin{cases} \text{"Усл. прочности стенки днища выполняется"} & \text{if } P_{д8} > P_{и1} \\ \text{"Усл. прочности НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

**Usl\_13 = "Усл. прочности стенки днища выполняется"**

$$P_{д8} = 6.593 \quad \text{МПа} \quad P_{и1} = 3.096 \quad \text{МПа}$$

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

$$Usl\_14 := \begin{cases} \text{"Усл. прочности стенки днища выполняется"} & \text{if } P_{д7} > P_{рас1} \\ \text{"Усл. прочности НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

**Usl\_14 = "Усл. прочности стенки днища выполняется"**

$$P_{д7} = 4.274 \quad \text{МПа} \quad P_{рас1} = 1.606 \quad \text{МПа}$$

*Расчет толщины крышки плавающей головки:*

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

$$R_3 := 700 \quad \text{мм}$$

Расчет толщины стенки крышки под действием внутреннего давления:

$$s_{p5} := \max \left( \begin{array}{l} \left( P_{рас3} \cdot \frac{R_3}{2 \cdot \varphi \cdot \sigma_{д60} - 0.5 \cdot P_{рас3}} \right) \\ \left( P_{и3} \cdot \frac{R_3}{2 \cdot \varphi \cdot \sigma_{и20\_1} - 0.5 \cdot P_{и3}} \right) \end{array} \right) = 5.166 \quad \text{мм}$$

Исполнительная толщина стеки аппарата:

$$s_{и5} := s_{p5} + c = 8.166 \quad \text{мм}$$

Принимаем толщину днища:

$$s_5 := 14 \quad \text{мм}$$

Проверка условий применимости формул без моментной теории:

$$Usl\_15 := \begin{cases} \text{"Усл. формул выполняются"} & \text{if } 0.002 \leq \frac{s_5 - c}{700} \leq 0.1 \\ \text{"Усл. формул НЕ выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

**Usl\_15 = "Усл. формул выполняются"**

Расчет допускаемого внутреннего избыточного давления при условиях гидроиспытаний:

$$P_{д10} := \frac{2 \cdot \sigma_{и20\_1} \cdot \varphi \cdot (S_5 - c)}{R_2 + (S_5 - c)} = 6.593 \quad \text{МПа}$$

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

$$Usl\_16 := \begin{cases} \text{"Усл. прочности стенки днища выполняется"} & \text{if } P_{д9} > P_{рас3} \\ \text{"Усл. прочности НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

**Usl\_16 = "Усл. прочности стенки днища выполняется"**

$$P_{д9} = 4.528 \quad \text{МПа} \quad P_{рас3} = 2.206 \quad \text{МПа}$$

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

$$Usl\_17 := \begin{cases} \text{"Усл. прочности стенки днища выполняется"} & \text{if } P_{д10} > P_{из} \\ \text{"Усл. прочности НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

**Usl\_17 = "Усл. прочности стенки днища выполняется"**

$$P_{д10} = 6.593 \quad \text{МПа} \quad P_{из} = 4.015 \quad \text{МПа}$$

### 3.2.6 Укрепление отверстий патрубков штуцеров

согласно [6]:

Находим диаметр патрубков:

Штуцер для входа нестабильного конденсата:

$$\text{Массовый расход смеси кг/ч} \quad L_c := 36654.2$$

$$\text{Плотность смеси кг/м}^3 \quad \rho_c := 544.8$$

$$\text{скорость движения смеси м/с} \quad \omega_c := 2.5$$

$$\pi := 3.14$$

Находим объемный расход смеси  $V_c$  кг/с

$$V_c := \frac{L_c}{\rho_c \cdot 3600} = 0.019 \quad \text{кг/с}$$

Находим диаметр штуцер  $d_c$  мм

$$d_c := \sqrt{\frac{(4 \cdot V_c)}{\pi \cdot \omega_c}} = 0.098$$

Принимаем стандартный штуцер  $d_c=100$  мм

Аналогично находим другие штуцера

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

По сколько 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.

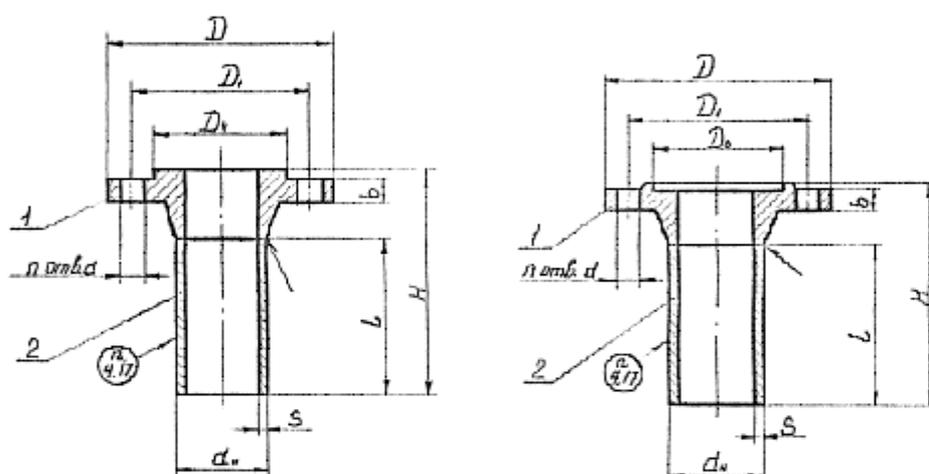


Рисунок 3.2.4 - штуцер с фланцами приваренными встык с уплотнительной поверхностью типа выступ впадина

Таблица 3.2.2. наименования

Обоз	Наименование	Dy, мм.	Py, МПа
А	Вход нестабильного конденсата	100	4
Б	Выход нестабильного конденсата	100	4
В	Вход стабильного конденсата	100	4
Г	Выход стабильного конденсата	100	4

Штуцер 100 - 4,0 - 2 - 2 - 09г2с ATK 24.218.06.90

Пример условного обозначения штуцера Dy 100 мм, Py 4,0 МПа, типа 2, исполнения 2,

l = 180 мм, фланец из стали 09г2с, патрубков из стали 09г2с.

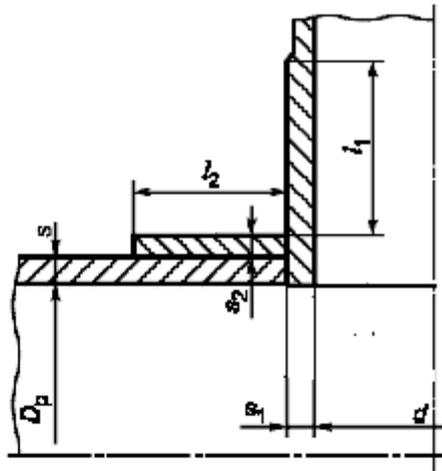


Рисунок 3.2.5 - Укрепление отверстий при наличии проходного штуцера

Расчет проводим: согласно [6]

Расчетный диаметр укрепляемых элементов:

Для цилиндрической оболочки:

$$D_p := D = 600 \quad \text{мм}$$

Диаметр отверстий штуров входа выхода нестабильного конденсата газа:

$$d_1 := 100 \quad \text{мм}$$

Диаметр отверстий штуцеров входа выхода стабильного конденсата:

$$d_2 := 100 \quad \text{мм}$$

Расчетный диаметр отверстий патрубков штуцеров НКГ:

$$d_{p1} := d_1 + 2 \cdot c = 106 \quad \text{мм}$$

Расчетный диаметр отверстий патрубков штуцеров СКГ:

$$d_{p2} := d_2 + 2 \cdot c = 106 \quad \text{мм}$$

Условие применимости формул к штуцерам нестабильного конденсата:

$$Usl\_18 := \begin{cases} \text{"Усл. не выполняются"} & \text{if } \frac{d_{p1} - 2 \cdot c}{D} > 1 \wedge \frac{s_2 - c}{D} > 0.1 \\ \text{"Усл. формул выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$Usl\_18 = \text{"Усл. формул выполняются"}$$

Условие применимости формул к штуцерам стабильного конденсата :

$$Usl\_19 := \begin{cases} \text{"Усл. НЕ выполняются"} & \text{if } \frac{d_{p2} - 2 \cdot c}{D} > 1 \wedge \frac{s_1 - c}{D} > 0.1 \\ \text{"Усл. формул выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$Usl\_19 = \text{"Усл. формул выполняются"}$$

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

$$d_{01} := 2 \cdot \left[ \left( \frac{s_1 - c}{s_{p1}} \right) - 0.8 \right] \cdot \sqrt{D_p \cdot (s_1 - c)} = 161.472 \quad \text{мм}$$

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

$$d_{02} := 2 \cdot \left[ \left( \frac{s_2 - c}{s_{p2}} \right) - 0.8 \right] \cdot \sqrt{D_p \cdot (s_2 - c)} = 272.158 \quad \text{мм}$$

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

$$Usl\_20 := \begin{cases} \text{"необходимо укрепление отверстия"} & \text{if } d_{p1} > d_{02} \\ \text{"укрепление отверстия не требуется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

**Usl\_20 = "укрепление отверстия не требуется"**

$$d_{p1} = 106 \quad \text{мм} \quad d_{02} = 272.158 \quad \text{мм}$$

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

$$Usl\_21 := \begin{cases} \text{"необходимо укрепление отверстия"} & \text{if } d_{p2} > d_{01} \\ \text{"укрепление отверстия не требуется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

**Usl\_21 = "укрепление отверстия не требуется"**

$$d_{p2} = 106 \quad \text{мм} \quad d_{01} = 161.472 \quad \text{мм}$$

### 3.2.7. Подбор стандартного фланцевого соединения кожуха и распределительной камеры

Подбираем стандартный фланец согласно [8]

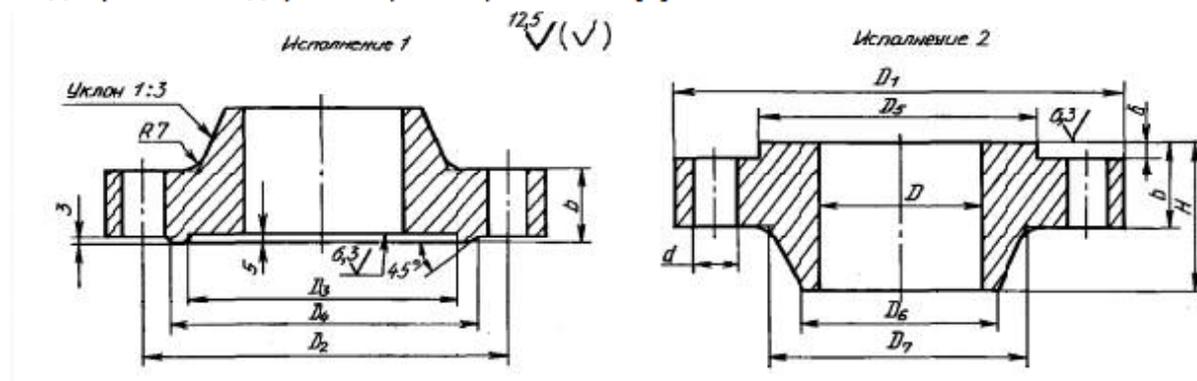


Рисунок 3.2.6 Фланцевое соединение с приварными в стык фланцами, тип уплотнительной поверхности выступ впадина.

**Тип фланца:** фланцевое соединение с приварными встык фланцам.

**Тип уплотнительной поверхности:** выступ впадина

**Материал фланца:** Сталь 09г2с

Таблица 3.2.2. - Основные размеры фланцевого соединения.

Dy, мм.	D, мм	L, мм	H, мм	dn, мм	s, мм	n
100	230	180	250	108	6	8

### 3.2.8. Прочностной расчет фланцевого соединения:

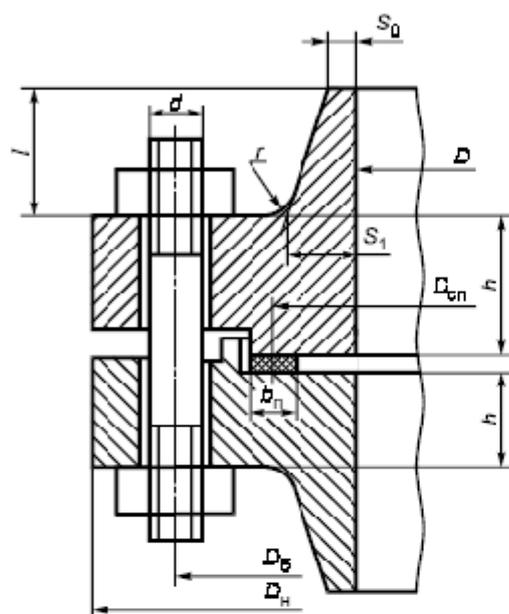


Рисунок 3.2.7 - Фланцевое соединения с приварными встык фланцами

**Тип фланца:** фланцевое соединения приварные встык

**Тип уплотнительной поверхности:** выступ впадина

Расчет проводим [9]

Исходные данные для расчета: взяты из таблицы

Внутренний диаметр:  $D = 600$  мм

Наружный диаметр фланца:  $D_n := 840$  мм

Диаметр болтовой окружности:  $D_b := 770$  мм

Толщина фланца:  $h := 30$  мм

Материал обечаек и фланцев - сталь 09Г2С

Материал болтов - сталь 35Х

Материал прокладки - паронит ПОН.

Толщина прокладки:  $h_n := 3$  мм

Ширина прокладки:  $b_n := 15$  мм

Диаметр болта:  $d := 30$  мм

Средний диаметр прокладки:

Толщина цилиндрической части втулки принята:  $s_0 := 14$  мм  $s_5 := s_1 = 10$  мм

Толщина конической части втулки:  $s_{1B} := 35$  мм

Высота втулки:  $h_{в} := 55$  мм

Средний диаметр прокладки:  $D_{сн} := D_b - b_n = 755$  мм

Количество болтов:  $n := 20$  болтов

Расчетная температура фланцевого соединения (не изолированного):

$$t_{\phi} := 200 \cdot 0.96 = 192 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Расчетная температура болтов:

$$t_b := 200 \cdot 0.85 = 170 \text{ } ^\circ\text{C}$$

материал для болтов: Сталь 35Х

допускаемое напряжение материала при температуре 20 °C для болта:

$$\sigma_{b20} := 230 \text{ МПа}$$

допускаемое напряжение материала при рабочей температуре для болта согласно [9]:

$$\sigma_b := \text{Floor} \left[ \text{linterp} \left[ \left( \begin{array}{c} 20 \\ 200 \end{array} \right), \left( \begin{array}{c} 230 \\ 230 \end{array} \right), t_b \right], 0.5 \right] = 230 \text{ МПа}$$

материал для фланцевого соединения 09Г2С

допускаемое напряжение материала при гидраиспытаниях для фланцев согласно [3]:

$$\sigma_{\phi 20} := \sigma_{и20\_1} = 273 \text{ МПа}$$

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

$$\sigma_{\phi} := \text{Floor} \left[ \text{linterp} \left[ \left( \begin{array}{c} 20 \\ 200 \end{array} \right), \left( \begin{array}{c} 196 \\ 177 \end{array} \right), t_{\phi} \right], 0.5 \right] = 177.5 \text{ МПа}$$

Модуль упругости материала болта при температуре 20 градусов:

$$E_{b20} := 2.15 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

Модуль упругости материала фланца 09Г2С согласно [3] для низколегированных сталей при температуре 20 градусов:

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

Модуль упругости материала фланца при рабочей температуре  $t_{\phi}$ :

$$E := \text{Floor} \left[ \text{linterp} \left[ \begin{pmatrix} 20 \\ 200 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} 1.99 \cdot 10^5 \\ 1.95 \cdot 10^5 \end{pmatrix}, t_{\phi} \right], 0.5 \right] = 1.952 \times 10^5 \quad \text{МПа}$$

Модуль упругости материала болта при рабочей температуре  $t_b$  градусов (Сталь 35Х теплоустойчивая и коррозионно-стойкая хромистая):

$$E_b := \text{Floor} \left[ \text{linterp} \left[ \begin{pmatrix} 20 \\ 200 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} 2.15 \cdot 10^5 \\ 2.05 \cdot 10^5 \end{pmatrix}, t_b \right], 0.5 \right] = 2.067 \times 10^5 \quad \text{МПа}$$

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 XI]:

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

Эффективная ширина прокладки:  
-для плоских прокладок:

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

Характеристики прокладки по [8, таблице И1]

Прокладочный коэффициент  $m$

$$m := 2.5$$

Удельное давление обжатия прокладки:

$$q_{\text{обж}} := 20 \quad \text{МПа}$$

Допускаемое Удельное давление

$$q_d := 130 \quad \text{МПа}$$

Коэффициент обжатия  $K_{\text{обж}}$

$$K_{\text{обж}} := 0.9$$

Условный модуль сжатия прокладки

$$E_n := 200 \quad \text{МПа}$$

Усилие, необходимое для смятия прокладки при затяжке,

$$P_{\text{обж}} := 0.5\pi \cdot D_{\text{сп}} \cdot b_0 \cdot m \cdot |P_{\text{рас1}}| = 7.138 \times 10^4 \quad \text{Н}$$

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

$$R_n := \begin{cases} \pi \cdot D_{\text{сп}} \cdot b_0 \cdot m \cdot P_{\text{рас1}} & \text{if } P_{\text{рас1}} \geq 0 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} = 1.428 \times 10^5 \quad \text{Н}$$

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

$$f_b := 520 \quad \text{мм}^2$$

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

$$A_b := n \cdot f_b = 1.04 \times 10^4 \quad \text{мм}^2$$

Равнодействующая нагрузка от давления

$$Q_d := \frac{\pi}{4} \cdot (D_{cp})^2 \cdot P_{рас1} = 7.186 \times 10^5 \quad \text{Н}$$

Податливость прокладки

$$y_n := \frac{h_n \cdot K_{обж}}{E_n \cdot \pi \cdot D_{cp} \cdot b_n} = 3.796 \times 10^{-7} \quad \text{мм/Н}$$

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

$$L_{b0} := 2 \cdot h + h_n = 63 \quad \text{мм}$$

Эффективная длина болта при определении податливости

$$L_b := \text{ceil}(L_{b0} + 0.28 \cdot d) = 72 \quad \text{мм}$$

Податливость болтов

$$y_b := \frac{L_b}{E_{620} \cdot A_b} = 3.22 \times 10^{-8} \quad \text{мм/Н}$$

Расчетные параметры фланцев:

Параметр длины обечайки:

$$l_0 := \sqrt{D \cdot s_0} = 91.6 \text{ мм}$$

- отношение наружного диаметра тарелки фланца к внутреннему диаметру

$$K := \frac{D_n}{D} = 1.4$$

- коэффициенты, зависящие от соотношения размеров тарелки фланца,

$$\beta_T := \frac{K^2 \cdot (1 + 8.55 \cdot \log(K)) - 1}{(1.05 + 1.945 \cdot K^2) \cdot (K - 1)} = 1.753$$

$$\beta_U := \frac{K^2 \cdot (1 + 8.55 \cdot \log(K)) - 1}{1.36(K^2 - 1) \cdot (K - 1)} = 6.527$$

$$\beta_Y := \frac{1}{(K - 1)} \cdot \left[ 0.69 + 5.72 \cdot \frac{K^2 \cdot \log(K)}{(K^2 - 1)} \right] = 5.991$$

$$\beta_Z := \frac{K^2 + 1}{K^2 - 1} = 3.083$$

Коэффициенты  $\beta_F$ ,  $\beta_V$  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:

$$\beta := \frac{s_{1B}}{s_0} = 2.5$$

$$x := \frac{h_B}{\sqrt{D \cdot s_0}} = 0.6$$

- коэффициенты для фланцевых соединений с приварными встык фланцами:

$$\beta_F := 0.79 \quad \beta_V := 0.24 \quad f := 1.4$$

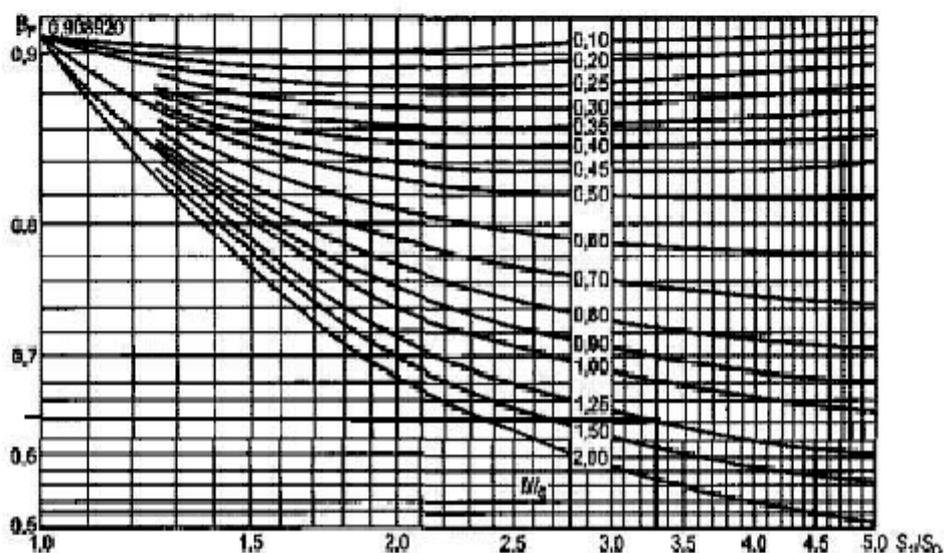


Рисунок 3.2.8 - Коэффициент  $\beta_F$

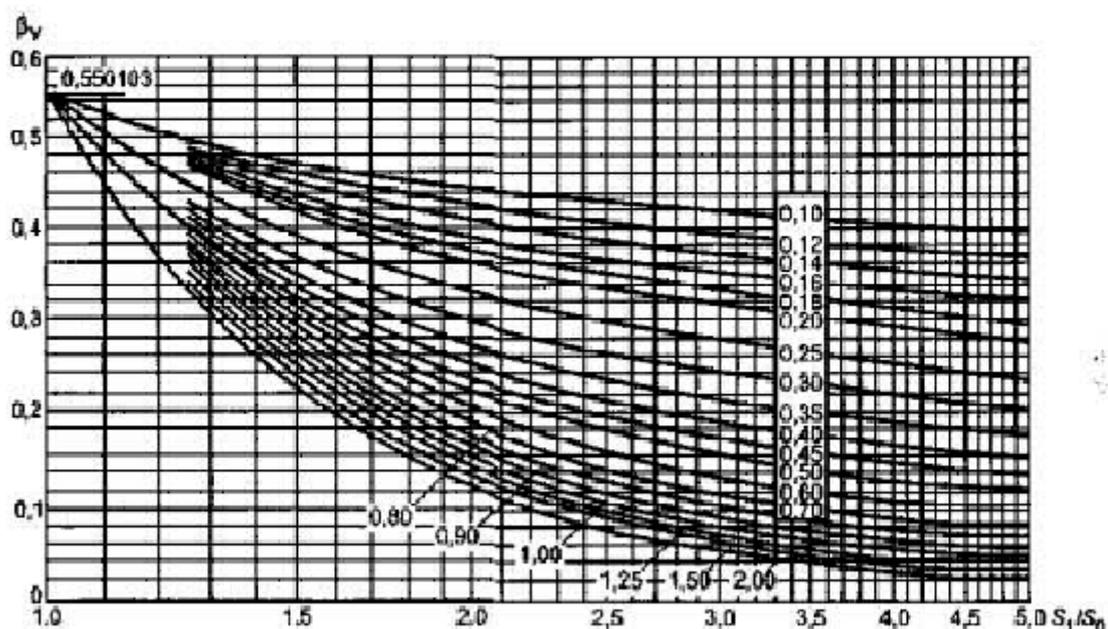


Рисунок 3.2.9 - Коэффициент  $\beta_V$

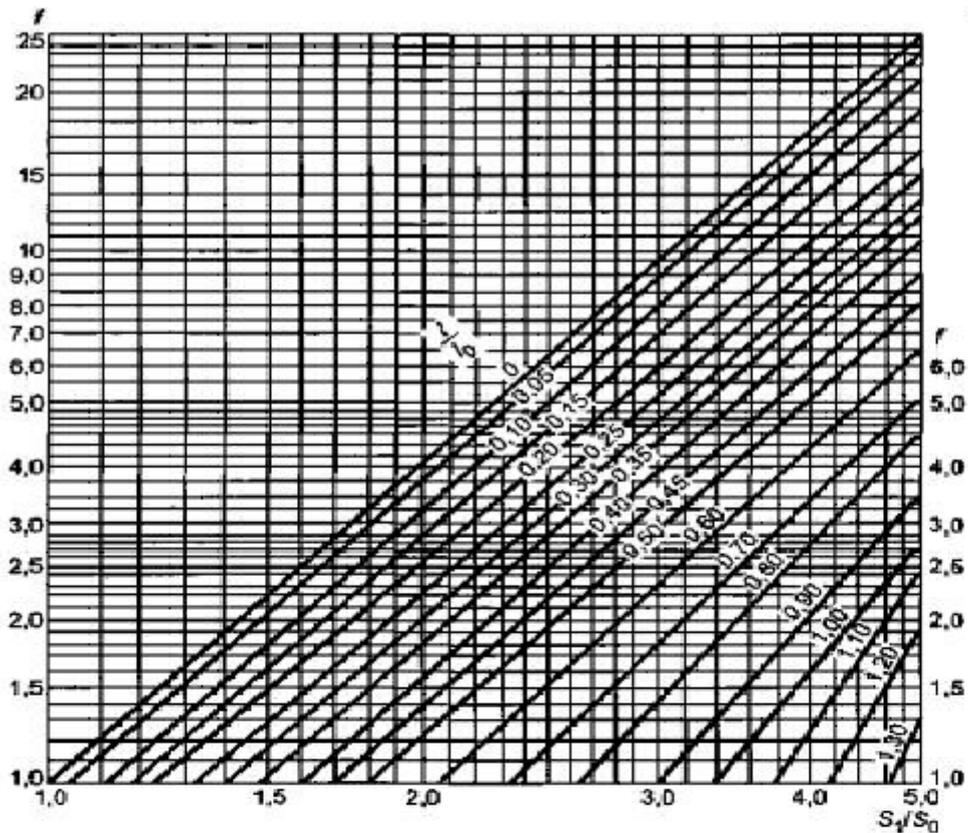


Рисунок 3.2.10 - Поправочный коэффициент для напряжений во втулке фланца f

- коэффициент  $\lambda$

$$\lambda := \frac{\beta_F \cdot h + l_0}{\beta_T \cdot l_0} + \frac{\beta_V \cdot h^3}{\beta_U \cdot l_0 \cdot (s_1)^2} = 0.826$$

Угловая податливость фланцев:

Угловая податливость фланца при затяжке:

$$y_\phi := \frac{0.91 \cdot \beta_V}{\lambda \cdot s_0^2 \cdot l_0 \cdot E_{20}} = 7.393 \times 10^{-11}$$

Плече действий усилия в болтах:

-Для привареных встык фланцев: смотри [8, стр. 32]

$$b := 0.5 \cdot (D_H - D_{сн}) = 42.5 \text{ мм}$$

Относительная длина втулки фланца:

$$\xi := 1 + (\beta - 1) \cdot \frac{x}{x + \frac{1 + \beta}{4}} = 1.61$$

$$s_3 := \xi \cdot s_0 = 22.543$$

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

$$e := 0.5 \cdot (D_{\text{сп}} - D - s_3) = 66.228 \quad \text{мм}$$

*Усилие, возникающее от температурных деформаций*

Коэффициент жесткости фланцевого соединения нагруженного внутренним давлением:

$$\alpha := 1 - \frac{y_n - 2 \cdot y_f \cdot e \cdot b}{y_n + y_b + 2 \cdot e \cdot y_f \cdot b^2} = 1.002$$

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

$$P_{b1} := \alpha \cdot Q_d + R_n = 8.628 \times 10^5 \quad \text{Н}$$

При рабочих условиях:

$$P_{b2} := P_{b1} + (1 - \alpha) \cdot (Q_d) = 8.613 \times 10^5 \quad \text{Н}$$

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

$$P_{bм} := \max(P_{b1}, P_{b2}) = 8.628 \times 10^5 \quad \text{Н}$$

- в рабочих условиях

$$P_{bр} := P_{bм} + (1 - \alpha) \cdot Q_d = 8.613 \times 10^5 \quad \text{Н}$$

Расчетные напряжения в болтах при затяжке:

$$\sigma_{b1} := \frac{P_{bм}}{A_b} = 82.961 \quad \text{МПа}$$

В рабочих условиях

$$\sigma_{b2} := \frac{P_{bр}}{A_b} = 82.821 \quad \text{МПа}$$

Номинальное допускаемое напряжение для болтов при рабочей температуре:

$$\sigma_b = 230 \quad \text{МПа}$$

Номинальное допускаемое напряжение для болтов при гидроиспытаниях:

$$\sigma_{b20} := 230 \quad \text{МПа}$$

где  $\xi = 1,2$  — коэффициент увеличения допускаемых напряжений при затяжке;

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

$K_{y.p1} = 1,0$  для рабочих условий;

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

$$\xi := 1.2 \quad K_{y.p1} := 1 \quad K_{y.p2} := 1.35$$

$$\xi := 1.2 \quad K_{y.p1} := 1 \quad K_{y.p2} := 1.35$$

$K_{y.z}$  — 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.

$K_{y.T}$  — коэффициент учета нагрузки от температурных деформаций:

Учитываем температурные деформации:

$$K_{y.T} := 1.3$$

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

При гидраиспытаниях:

$$\sigma_{бм} := K_{y.p2} \cdot K_{y.z} \cdot \xi \cdot K_{y.T} \cdot \sigma_{б20} = 484.38 \quad \text{МПа}$$

При рабочих условиях

$$\sigma_{бр} := K_{y.p1} \cdot K_{y.z} \cdot K_{y.T} \cdot \sigma_{б} = 299 \quad \text{МПа}$$

Условие прочности болтов при затяжке:

$$Us1\_22 := \begin{cases} \text{"Усл. прочности при гидраиспытаниях выполняются"} & \text{if } \sigma_{б1} \leq \sigma_{бм} \\ \text{"Усл. прочности не выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$Us1\_22 = \text{"Усл. прочности при гидраиспытаниях выполняются"}$

$$\sigma_{б1} = 82.961 \quad \text{МПа} \quad \sigma_{бм} = 484.38 \quad \text{МПа}$$

Условие прочности болтов в рабочих условиях:

$$Us1\_23 := \begin{cases} \text{"Усл. прочности болтов при работе выполняются"} & \text{if } \sigma_{б2} \leq \sigma_{бр} \\ \text{"Усл. прочности не выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$Us1\_23 = \text{"Усл. прочности болтов при работе выполняются"}$

$$\sigma_{б2} = 82.821 \quad \text{МПа} \quad \sigma_{бр} = 299 \quad \text{МПа}$$

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

Расчетное удельное давление:

$$q := \frac{\max(P_{б1}, P_{б2})}{\pi \cdot D_{сн} \cdot b_n} = 24.263 \quad \text{МПа}$$

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

$$q_d := 130 \quad \text{МПа}$$

$$Us1\_24 := \begin{cases} \text{"Усл. прочности прокладки выполняются"} & \text{if } q \leq q_d \\ \text{"Усл. прочности не выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$Us1\_24 = \text{"Усл. прочности прокладки выполняются"}$

$$q = 24.263 \quad \text{МПа} \quad q_d = 130 \quad \text{МПа}$$

*Расчет фланца на статическую прочность:*

Коэффициент, учитывающий изгиб тарелки фланца между болтами:

$$C_{\phi} := \max \left( 1, \sqrt{\frac{\frac{\pi \cdot D_{\phi}}{n}}{2 \cdot d + \frac{h \cdot 6}{m + 0.5}}} \right) = 1.004$$

Расчетный изгибающий момент действующий на фланец при затяжке:

$$M_M := C_{\phi} \cdot P_{\phi 1} \cdot b = 3.68 \times 10^7 \quad \text{Н} \cdot \text{мм}$$

Расчетный изгибающий момент, действующий на фланец в рабочих условиях

$$M_P := C_{\phi} \cdot \max \left[ (P_{\phi p} \cdot b + Q_D \cdot e), e \cdot |Q_D| \right] = 8.451 \times 10^7 \quad \text{Н} \cdot \text{мм}$$

Приведенный диаметр приварного встык фланца с конической втулкой:

$$D_{\text{пр}} := \begin{cases} D & \text{if } D \geq 20 \cdot s_{1B} \\ (D + s_0) & \text{if } \begin{cases} f > 1 \\ D \leq 20 \cdot s_{1B} \end{cases} \\ (D + s_{1B}) & \text{if } \begin{cases} D \leq 20 \cdot s_{1B} \\ f = 1 \end{cases} \end{cases} = 614 \quad \text{мм}$$

Расчетные напряжения во фланце при затяжке:

$$\sigma_{1M} := \frac{M_M}{\lambda \cdot (s_{1B} - c)^2 \cdot D_{\text{пр}}} = 70.834 \quad \text{МПа}$$

$$\sigma_{0M} := f \cdot \sigma_{1M} = 99.168 \quad \text{МПа}$$

*Расчетные напряжения во фланце в рабочих условиях:*

Меридиональное изгибающее напряжение для плоского фланца:

$$\sigma_{1P} := \frac{M_P}{\lambda \cdot (s_{1B} - c)^2 \cdot D_{\text{пр}}} = 162.646 \quad \text{МПа}$$

$$\sigma_{0P} := f \cdot \sigma_{1P} = 227.705 \quad \text{МПа}$$

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

$$\sigma_{0\text{мм\_раб}} := \frac{Q_D}{\pi \cdot (D + s_0) \cdot (s_0 - c)} = 33.883 \quad \text{МПа}$$

Окружные мембранные напряжения от действия давления во втулке приварного встык фланца, трубе плоского фланца  $S_0$ :

$$\sigma_{0\text{мо\_раб}} := \frac{D \cdot P_{\text{рас1}}}{2 \cdot (s_0 - c)} = 43.796 \quad \text{МПа}$$

$$\sigma_{0\text{мо\_раб}} := \frac{D \cdot P_{\text{рас1}}}{2 \cdot (s_0 - c)} = 43.796 \quad \text{МПа}$$

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;

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

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

При затяжке:

$$Usl\_25 := \begin{cases} \text{"Усл. статической прочности выполняются"} & \text{if } \sigma_{0M} \leq \sigma_R \cdot K_T \\ \text{"Усл. прочности не выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

**Usl\_25 = "Усл. статической прочности выполняются"**

$$\sigma_{0M} = 99.168 \quad \text{МПа} \quad \sigma_R \cdot K_T = 230.75 \quad \text{МПа}$$

-в рабочих условиях:

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

$$B := |0.7 \cdot \sigma_{0p} + (\sigma_{0\text{мо\_раб}} - \sigma_{0\text{мм\_раб}})|$$

$$V := |0.7 \cdot \sigma_{0p} - (\sigma_{0\text{мо\_раб}} - \sigma_{0\text{мм\_раб}})|$$

$$\max(\max(|\sigma_{0p} - \sigma_{0\text{мм\_раб}}|, |\sigma_{0p} + \sigma_{0\text{мм\_раб}}|), A, \max(B, V)) = 261.588$$

$$\Gamma := 0.7 \cdot \sigma_{0p} + (\sigma_{0\text{мо\_раб}} - \sigma_{0\text{мм\_раб}})$$

$$Usl\_26 := \begin{cases} \text{"Усл. выполняются"} & \text{if } \max(\Gamma) \leq \sigma_R \cdot K_T \\ \text{"Усл. прочности не выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

**Usl\_26 = "Усл. выполняются"**

$$\max(\Gamma) = 169.307 \quad \text{МПа} \quad \sigma_R \cdot K_T = 230.75 \quad \text{МПа}$$

Проверка углов поворота фланцев

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

$$\theta := P_{\text{бр}} \cdot y_\phi \cdot \frac{E_{20}}{E} = 6.493 \times 10^{-5}$$

Допускаемый угол поворота фланца с диаметром 600 мм:

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

$$\theta_d := \text{Floor}(\text{linterp}(D_T, \theta_{d_T}, D), 0.00005) = 6.85 \times 10^{-3}$$

$$Usl_{27} := \begin{cases} \text{"Усл. угла поворота фланца выполняется"} & \text{if } \theta \leq \theta_d \\ \text{"Усл. НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

**Usl<sub>27</sub> = "Усл. угла поворота фланца выполняется"**

### 3.2.9 Расчет трубной решетки

Расчет согласно [10]

Половина длины труб аппарата равна 3 метра.

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

Число труб:  $n_{\text{тр}} := 206$  трубы

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

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

$$\sigma_{\text{реш100}} := \sigma_{d200} = 177 \quad \text{МПа}$$

Модуль упругости:

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

Для труб используется материал: Сталь 10Г2С1

Допускаемое напряжение трубного пучка:

$$\sigma_{\text{тр60}} := \sigma_{d60T} = 177 \quad \text{МПа}$$

Модуль упругости при рабочей температуре  $t_2 = 100$  °C для материала труб:

Сталь 09Г2С [3]

$$E_{222} := \text{Floor} \left[ \text{linterp} \left[ \left( \begin{array}{c} 20 \\ 100 \end{array} \right), \left( \begin{array}{c} 1.99 \cdot 10^5 \\ 1.91 \cdot 10^5 \end{array} \right), t_2 \right], 0.5 \right] = 1.91 \times 10^5 \quad \text{МПа}$$

Диаметр трубы внутренний:  $d_{\text{тр}} := 21$  мм

толщина стенки трубы:  $s_{\text{тр}} := 2$  мм

Диаметр трубы наружный:  $d_{\text{нр}} := 25$  мм

Внутренний радиус кожуха:

$$a := \frac{D}{2} = 300 \quad \text{мм}$$

Основные характеристики трубной решетки, для двухходового теплообменника диаметром 600 мм. согласно [11]

Диаметр трубного пучка  $D_0 := 588$  мм

Расстояние от оси кожуха до оси наиболее удаленной трубы:

$$a_1 := \frac{D_0}{2} = 294 \quad \text{мм}$$

Расчет трубной решетки: согласно [ 12 ]

Относительную характеристику вес трубного края трубной решетки:

$$m_n := \frac{a}{a_1} = 1.02$$

Шаг расположения труб [ 12 ]:

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

Коэффициент прочности решетки:

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

Диаметр середины прокладки фланцевого соединения:

$$D_{ср} := 655 \quad \text{мм}$$

Толщина трубной решетки:

$$s_p := \max \left( \text{ceil} \left( \frac{D_{ср}}{4.7} \cdot \sqrt{\frac{P_{рас1}}{\sigma_{реш100} \cdot \phi_p}} + c \right), \text{ceil} \left( \frac{D_{ср}}{4.7} \cdot \sqrt{\frac{P_{и1}}{\sigma_{и20\_1} \cdot \phi_p}} + c \right) \right) = 29 \quad \text{мм}$$

Принимаем толщину трубной решетки:

$$s_p := 60 \quad \text{мм}$$

Коэффициенты влияния давления на трубную решетку вычисляются по формулам:

- со стороны межтрубного пространства:

$$\eta_m := 1 - \frac{n_{тр} \cdot d_{нр}^2}{4 \cdot a_1^2} = 0.628$$

- со стороны трубного пространства:

$$\eta_r := 1 - \frac{n_{тр} \cdot (d_{нр} - 2 \cdot s_{тр})^2}{4 \cdot a_1^2} = 0.737$$

Основные характеристики жесткости элементов теплообменного аппарата.

Модуль упругости основания (системы труб)

$$K_y := \frac{E_2 \cdot (\eta_r - \eta_m)}{l_{труб}} = 6.98 \quad \frac{\text{Н}}{\text{мм}^3}$$

Приведенное отношение жесткости труб к жесткости кожуха вычисляются по формуле

$$\rho := \frac{K_y \cdot a_1 \cdot l_{труб}}{E_1 \cdot s_1} = 3.401$$

Коэффициенты изменения жесткости системы трубы - кожух:

Коэффициенты изменения жесткости системы трубы — кожух вычисляются 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  $\psi_0$

$$\eta_T = 0.737$$

Таблица 3.2.3 Коэффициент жесткости перфорированной плиты  $\psi_0$

$\eta_T$	0,4	0,45	0,5	0,55	0,6	0,65	0,7	0,75	0,8	0,85
$\psi_0$	0,12	0,15	0,2	0,25	0,3	0,37	0,44	0,51	0,59	0,68

Коэффициент жесткости перфорированной плиты  $\psi_0$

$$\psi_0 := \text{Floor} \left[ \text{interp} \left[ \begin{pmatrix} 0,45 \\ 0,5 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} 0,15 \\ 0,2 \end{pmatrix}, \eta_T \right], 0,005 \right] = 0,435$$

Коэффициент системы решетка - трубы:

$$\beta := \frac{1,82}{s_p} \cdot \sqrt[4]{\frac{K_y \cdot s_p}{\psi_0 \cdot E_{\text{реш100}}}} = 8,082 \times 10^{-3}$$

Безразмерный параметр системы решетка — трубы вычисляются по формуле

$$\omega := \beta \cdot a_1 = 2,376$$

Коэффициент линейного расширения трубы при :

$$\alpha_1 = 1,4 \times 10^{-5} \quad 1/^\circ\text{C}$$

Коэффициент линейного расширения кожуха:

$$\alpha_2 = 1,3 \times 10^{-5} \quad 1/^\circ\text{C}$$

$K_\phi$  - коэффициент жесткости фланцевого соединения при изгибе, Н·мм;

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

Расчетное давление в трубном пространстве

$$P_{\text{рас2}} = 2,206 \quad \text{МПа}$$

Расчетное давление в межтрубном пространстве,

$$P_{\text{рас1}} = 1,606 \quad \text{МПа}$$

$R_1$  - радиус центра тяжести тарелки кожуха, мм;

$$R_1 := \frac{D_{\text{сн}} - D}{4} = 13.75 \quad \text{мм}$$

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

$$m_{\text{ср}} := 0.15 \cdot \frac{n_{\text{тр}} \cdot (d_{\text{нр}} - 2 \cdot s_{\text{тр}})^2}{4 \cdot a_1^2} = 0.039$$

Приведенное давление  $p_0$  вычисляют по формуле:

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

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

$$p_0 := B + [\eta_T - 1 + m_{\text{ср}} + m_n \cdot (m_n + 0.5\rho \cdot K_q)] \cdot P_{\text{рас2}} - A \cdot P_{\text{рас1}} = -26.876$$

Приведенное отношение жесткости труб к жесткости фланцевого соединения вычисляют по формуле

$$\rho_1 := \frac{K_y \cdot a \cdot a_1}{\beta^2 \cdot K_\phi \cdot R_1} = 6.854 \times 10^8 \quad \text{МПа}$$

Коэффициенты, учитывающие влияние без трубного края и поддерживающие влияние труб  $\Phi_1, \Phi_2, \Phi_3$

безразмерный параметр системы решетка - трубы.  $\omega = 2.376 \quad m_n = 1.02$

$$\Phi_1 := \text{Floor} \left[ \text{linterp} \left[ \left( \begin{array}{c} 3 \\ 3.5 \end{array} \right), \left( \begin{array}{c} 4.5 \\ 5.39 \end{array} \right), \omega \right], 0.005 \right] = 3.385$$

$$\Phi_2 := \text{Floor} \left[ \text{linterp} \left[ \left( \begin{array}{c} 3 \\ 3.5 \end{array} \right), \left( \begin{array}{c} 2.94 \\ 3.59 \end{array} \right), \omega \right], 0.005 \right] = 2.125$$

$$\Phi_3 := \text{Floor} \left[ \text{linterp} \left[ \left( \begin{array}{c} 3 \\ 3.5 \end{array} \right), \left( \begin{array}{c} 4.65 \\ 5.36 \end{array} \right), \omega \right], 0.005 \right] = 3.76$$

Значения  $T_1, T_2, T_3$  вычисляют по формулам:

$$t_1 := 1 + 1.4\omega \cdot (m_n - 1) = 1.068$$

$$T_1 := \Phi_1 \cdot [m_n + 0.5(1 + m_n \cdot t_1) \cdot (t_1 - 1)] = 3.694$$

$$T_2 := \Phi_2 \cdot t_1 = 2.269$$

$$T_3 := \Phi_3 \cdot m_n = 3.837$$

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

- для изгибающего момента:

s<sub>1k</sub> - толщина стенки кожуха в месте соединения с трубной решеткой мм

$$s_{1k} := 10 \quad \text{мм} \quad s_{2k} := 10 \quad \text{мм}$$

β<sub>1</sub> - коэффициент системы кожух - решетка, 1/мм;

$$\beta_1 := \frac{1.3}{\sqrt{s_{1k} \cdot a}} = 0.024 \quad \frac{1}{\text{мм}}$$

β<sub>2</sub> - коэффициент системы обечайка - камеры, 1/мм;

$$\beta_2 := \frac{1.3}{\sqrt{s_{2k} \cdot a}} = 0.024 \quad \frac{1}{\text{мм}}$$

$$h_1 := s_p$$

m<sub>1</sub> - коэффициент влияния давления на изгиб:

$$m_1 := \frac{1 + \beta_1 \cdot h_1}{\beta_1^2} = 4.303 \times 10^3$$

m<sub>2</sub> - коэффициент влияния давления на изгиб:

$$m_2 := \frac{1 + \beta_2 \cdot h_1}{\beta_2^2} = 4.303 \times 10^3$$

p<sub>1</sub> - приведенное давление на фланцы

$$p_1 := \frac{K_y}{\beta \cdot K_h} \cdot (m_2 \cdot P_{\text{рас1}} - m_1 \cdot P_{\text{рас2}}) = -2.23 \times 10^6 \quad \text{МПа}$$

расчетное давление воздушного охлаждения в камере аппарата:

$$P := P_{\text{рас2}} = 2.206 \quad \text{МПа}$$

$$M_n := \left( \frac{a_1}{\beta} \right) \cdot \frac{p_1 \cdot (T_1 + \rho \cdot K_q) - p_0 \cdot T_2}{(T_1 + \rho \cdot K_q) \cdot (T_3 + \rho_1) - T_2^2} = -118.335 \quad \text{Н} \cdot \text{мм}$$

для перерезывающей силы:

$$Q_n := a_1 \cdot \frac{p_0 \cdot (T_3 + \rho_1) - p_1 \cdot T_2}{(T_1 + \rho \cdot K_q) \cdot (T_3 + \rho_1) - T_2^2} = -1.113 \times 10^3 \quad \text{Н}$$

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

- для изгибающего момента:

$$M_a := M_n + (a - a_1) \cdot Q_n = -6.798 \times 10^3 \quad \text{Н} \cdot \text{мм}$$

- для перерезывающей силы:

$$Q_a := m_n \cdot Q_n = -1.136 \times 10^3 \quad \text{Н}$$

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

- для осевой силы:

$$N_T := \frac{\pi \cdot a_1}{n_{\text{тр}}} \cdot [(\eta_M \cdot P_{\text{рас1}} - \eta_T \cdot P_{\text{рас2}}) \cdot a_1 + \Phi_1 \cdot Q_a + \Phi_2 \cdot \beta \cdot M_a] = -1.857 \times 10^4 \quad \text{Н}$$

- для изгибающего момента:

Внутренний диаметр трубы:

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

$J_T$  - момент инерции поперечного сечения трубы, мм<sup>4</sup>;

$$J_T := \frac{\pi}{64} \cdot (d_{\text{нр}}^4 - d_B^4) = 9.623 \times 10^3 \quad \text{мм}^4$$

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

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

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

$$M_T := \frac{E_2 \cdot J_T \cdot \beta}{K_y \cdot a_1 \cdot l_{\text{пр}}} \cdot (\Phi_2 \cdot Q_a + \Phi_3 \cdot \beta \cdot M_a) = -6.324 \times 10^3 \quad \text{Н} \cdot \text{мм}$$

Усилия в кожухе вычисляют по формулам:

- усилие, распределенное по периметру кожуха:

$$Q_k := \frac{a}{2} \cdot P_{\text{рас2}} - Q_n = 1.444 \times 10^3 \quad \text{Н}$$

- изгибающий момент, распределенный по периметру кожуха:

$$K_1 := 1$$

$$M_k := \frac{K_1}{\rho \cdot K_\phi \cdot \beta} \cdot (T_2 \cdot Q_n + T_3 \cdot \beta \cdot M_n) - \frac{P_{\text{рас1}}}{2 \cdot \beta_1^2} = -9.346 \times 10^4 \quad \text{Н} \cdot \text{мм}$$

- суммарная осевая сила, действующая на кожух:

$$F := \pi D \cdot Q_k = 2.721 \times 10^6 \quad \text{Н}$$

Расчетные напряжения в элементах конструкции

$s_p$  - толщина трубной решетки;  $s_p = 60 \quad \text{мм}$

$$s_{1p} := s_p = 60 \quad \text{мм}$$

b1 - ширина тарелки кожуха, м;

$$b_1 := \frac{D_H - D}{2} = 120 \quad \text{мм}$$

R1 - радиус центра тяжести тарелки кожуха, м;

$$R_1 := \frac{D_H - D}{4} = 60 \quad \text{мм}$$

*Расчетные напряжения в трубных решетках.*

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

- изгибные:

$$\sigma_{p1} := \frac{6 \cdot |M_n|}{(s_{1p} - c)^2} = 0.219 \quad \text{МПа}$$

- касательные:

$$\tau_{1p} := \frac{|Q_n|}{s_{1p} - c} = 19.532 \quad \text{МПа}$$

n<sub>B</sub> - коэффициент для определения максимального изгибающего момента в перфорированной части трубной решетки;

$$n_B := \frac{Q_a}{\beta \cdot M_a} = 20.676 \quad \omega := 3.8$$

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

$$B := \text{Floor} \left[ \text{linterp} \left[ \begin{pmatrix} 3 \\ 4 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} 0.964 \\ 1.029 \end{pmatrix}, \omega \right], 0.0005 \right] = 1.016$$

где A - коэффициент, определяемый по таблице [10, стр. 51, таблица Г2] в зависимости от ω и m<sub>A</sub>

$$m_A := \frac{\beta \cdot M_a}{Q_a} = 0.048$$

$$A := \text{Floor} \left[ \text{linterp} \left[ \begin{pmatrix} 3 \\ 4 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} 0.376 \\ 0.37 \end{pmatrix}, \omega \right], 0.0005 \right] = 0.371 \quad \text{Н} \cdot \text{мм}$$

M<sub>max</sub> — максимальный расчетный изгибающий момент в перфорированной части трубной решетки.

$$M_{\max} := A \cdot \frac{|Q_a|}{\beta} = 5.215 \times 10^4 \quad \text{при} \quad 0.7 \leq \frac{(\beta \cdot m_A)}{Q_a} \leq 1 = 0$$

$$M_{\max} := B \cdot |m_A| = 0.049 \quad \text{при} \quad 0 \leq \frac{\beta \cdot m_A}{Q_a} \leq 1 = 0$$

Напряжения в перфорированной части трубной решетки вычисляются по формулам:  
- изгибные:

$$\sigma_{p2} := \frac{6 \cdot M_{\max}}{\varphi \cdot (s_{1p} - c)^2} = 9.075 \times 10^{-5} \text{ МПа}$$

- касательные:

$$\tau_{2p} := \frac{|Q_a|}{\varphi \cdot (s_{1p} - c)} = 19.931 \text{ МПа}$$

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

мембранные:

$$\sigma_{Mk} := \frac{|Q_k|}{(s_{1k} - c)} = 206.315 \text{ МПа}$$

изгибные:

$$\sigma_{uk} := \frac{6 \cdot |M_k|}{(s_{1k} - c)^2} = 1.144 \times 10^4 \text{ МПа}$$

в окружном направлении:

мембранные:

$$\sigma_{M\varphi} := \frac{P_{\text{рас1}} \cdot a}{(s_{1k} - c)} = 68.823 \text{ МПа}$$

изгибные:

$$\sigma_{u\varphi} := 0.3 \cdot \sigma_{uk} = 3.433 \times 10^3 \text{ МПа}$$

в окружном направлении:

$$\sigma_{2t} := \frac{(d_{\text{др}} - s_{\text{тр}}) \max(|P_{\text{рас2}}|, |P_{\text{рас1}}|, |P_{\text{рас2}} - P_{\text{рас1}}|)}{2 \cdot s_{\text{тр}}} = 12.684 \text{ МПа}$$

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

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

*Проверка прочности трубных решёток*

Проверка статической прочности

$$Usl_{28} := \begin{cases} \text{"Усл. прочности выполняется"} & \text{if } \max(\tau_{1p}, \tau_{2p}) \leq 0.8 \cdot \sigma_{\text{др}} \\ \text{"Усл. прочности НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

**Usl<sub>28</sub> = "Усл. прочности выполняется"**

$$\max(\tau_{1p}, \tau_{2p}) = 19.931 \text{ МПа} \quad 0.8 \cdot \sigma_{др} = 141.6 \text{ МПа}$$

### 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;

$$\sigma_{д200} = 177 \text{ МПа}$$

$$Usl\_29 := \begin{cases} \text{"Усл. выполняется"} & \text{if } \sigma_{Мх} \leq 1.3 \cdot \sigma_{д200} \\ \text{"Усл. НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$Usl\_29 = \text{"Усл. выполняется"}$$

$$\sigma_{Мх} = 206.315 \text{ МПа} \quad 1.3 \cdot \sigma_{д200} = 230.1 \text{ МПа}$$

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

условие статической прочности труб

$$Usl\_30 := \begin{cases} \text{"Усл. выполняется"} & \text{if } \sigma_{2т} \leq \sigma_{тр60} \\ \text{"Усл. НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$Usl\_30 = \text{"Усл. выполняется"}$$

$$\sigma_{2т} = 12.684 \text{ МПа} \quad \sigma_{тр60} = 177 \text{ МПа}$$

Проверку труб на устойчивость проводят в случае, если

$K_t$  - коэффициент условий работы при расчете труб на устойчивость;

-Для рабочих условий:

$$K_{т1} := 1.3$$

-Для условий гидроиспытания:

$$K_{т2} := 1.126$$

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

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

$$l_{1R} := 400 \text{ мм} \quad l_{2R} := 400 \text{ мм}$$

$l_R$  - 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:

$$f := 0.866 \cdot t^2 - \frac{\pi \cdot d_{\text{тр}}^2}{4} = 540.599 \quad \text{мм}^2$$

Трубная нагрузка:

$$q := P_{\text{рас2}} \cdot f = 1.192 \times 10^3$$

-Для рабочих условия:

$$\lambda_1 := K_{T1} \cdot \sqrt{\frac{\sigma_{\text{тр60}}}{E_2}} \cdot \frac{l_R}{(d_{\text{тр}} - s_{\text{тр}})} = 0.833$$

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

-Для условий гидроиспытания:

$$\lambda_2 := K_{T2} \cdot \sqrt{\frac{\sigma_{\text{и20}_2}}{E_{\text{тр20}}}} \cdot \frac{l_R}{(d_{\text{тр}} - s_{\text{тр}})} = 0.878$$

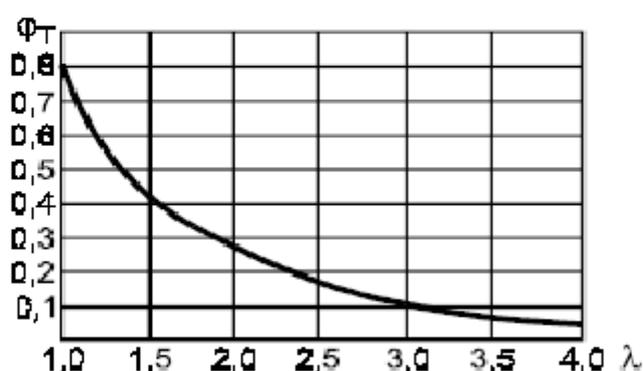


Рисунок 3.2.11 - Коэффициент уменьшения допустимого напряжения при продольном изгибе

Коэффициент уменьшения допустимого напряжения при продольном изгибе:

из рисунка

$$\varphi_T := 0.8$$

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 давление в трубном пространстве на крышку теплообменника:

$$Q_1 := P_{рас1} \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4} = 4.538 \times 10^5 \quad \text{Н}$$

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

$$Q_2 := P_{рас1} \cdot \frac{\pi}{4} \cdot (D^2 - d_B^2 \cdot n_{тр}) = 3.393 \times 10^5 \quad \text{Н}$$

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

$$Q_3 := P_{рас2} \cdot \frac{\pi}{4} \cdot (D^2 - d_H^2 \cdot n_{тр}) = 6.234 \times 10^5 \quad \text{Н}$$

Осевое усилие в трубном и межтрубном пространстве:

$$Q := Q_1 + Q_2 + Q_3 = 1.416 \times 10^6 \quad \text{Н}$$

Осевое усилие в трубном и межтрубном пространстве

$$q := \frac{Q}{n_{тр}} = 6.876 \times 10^3 \quad \text{Н}$$

Площадь поперечного сечения стенки трубы:

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

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

$$q_T := \sigma_T \cdot f_T = 0.029 \quad \text{Н}$$

Суммарное усилие:

$$q_c := q - q_T = 6.876 \times 10^3 \quad \text{Н}$$

Удельная нагрузка от давления на единицу длины окружности:

$$\sigma_0 := \frac{q_c}{\pi \cdot d_H} = 8.759 \times 10^4 \quad \frac{\text{Н}}{\text{м}}$$

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

$$Usl\_32 := \begin{cases} \text{"Усл. прочности выполняется"} & \text{if } \sigma_0 \leq \sigma_{0д} \\ \text{"Усл. НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$Usl\_32 = \text{"Усл. прочности выполняется"}$$

### 3.2.10. Расчет веса аппарата:

Расчет веса корпуса аппарата:

$$D := 0.6 \quad \text{м}$$

Толщина стенки межтрубного пространства кожуха:

$$s_1 := 0.01 \quad \text{м}$$

Толщина стенки распределительной камеры:

$$s_2 := 0.014 \quad \text{м}$$

Плотность материала сталь 09г2с:

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

Вес кожуха распределительной камеры:

$$G_{\text{кож}} := \pi \cdot \left[ \frac{(D + 2 \cdot s_2)^2 - D^2}{4} \right] \cdot 0.7 \cdot \rho_{\text{мет1}} \cdot g = 1.454 \times 10^3 \quad \text{Н}$$

Вес кожуха обечайки

$$G_{\text{об}} := \pi \cdot \left[ \frac{(D + 2 \cdot s_1)^2 - D^2}{4} \right] \cdot 5.7 \cdot \rho_{\text{мет1}} \cdot g = 8.399 \times 10^3 \quad \text{Н}$$

Внутренний объем эллиптической крышки [2, стр. 440]

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

Масса днища: согласно [2, стр. 441]

$$m_{\text{дн1}} := 105 \quad \text{кг}$$

Вес эллиптической крышки аппарата:

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

Внутренний объем эллиптической крышки [2, стр. 440]

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

Масса днища: согласно [2, стр. 441]

$$m_{\text{дн2}} := 129 \quad \text{кг}$$

Вес эллиптической крышки аппарата:

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

Вес трубного пучка аппарата:

$$G_{\text{тр}} := 206 \cdot \pi \cdot \left[ \frac{(0.025)^2 - 0.021^2}{4} \right] \cdot 6 \cdot \rho_{\text{мет1}} \cdot g = 1.373 \times 10^4 \quad \text{Н}$$

Вес трубной решетки:

$$G_{\text{тр\_реш}} := \pi \cdot \frac{(0.6)^2}{4} \cdot 0.095 \cdot \rho_{\text{мет1}} \cdot g = 2.065 \times 10^3 \quad \text{Н}$$

Вес пустого аппарата:

$$G_{\text{ап1}} := G_{\text{д.эл1}} + G_{\text{д.эл2}} + G_{\text{об}} + G_{\text{кож}} + G_{\text{тр}} + G_{\text{тр\_реш}} = 2.795 \times 10^4 \quad \text{Н}$$

Вес жидкости в условиях гидраиспытаний:

$$G_{\text{жид1}} := \left( \pi \cdot \frac{D^2}{4} \cdot 0.7 + V_{\text{д1}} + V_{\text{д2}} + \pi \cdot \frac{D^2}{4} \cdot 6 \right) \cdot \rho_{\text{вод}} \cdot g = 2.066 \times 10^4 \quad \text{Н}$$

Вес аппарата заполненного жидкостью:

$$G_{\text{ап2}} := G_{\text{ап1}} + G_{\text{жид1}} = 4.861 \times 10^4 \quad \text{Н}$$

Выбор стандартной опоры аппарата [2, стр. 681].

Условное обозначение опоры для аппарата с  $D = 600$  мм на нагрузку  $0,17$  Мн (17 тс):  
«Опора ОГ—II—600—17 МН 5132—63».

таблица 3.2.4.стандарты опор

G	L	D	H	I	B	R	s
Н	мм						
170000	600	700	200	340	160	322	10

Условие правильности выбора опоры:

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

#### 4.1 Механический расчет буферной емкости

Рассчитываем буферную емкость, горизонтального исполнения.

Исходные данные:

Внутренний диаметр аппарата, мм  $D := 2400$

Рабочее давление в кожухе, МПа  $P_1 := 2.2$

Расчетная температура кожуха аппарата, °C  $t_1 := 30$

Ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>  $g := 9.8$

Длина аппарата, мм  $L := 11000$

Материал аппарата сталь 09Г2С

Основные свойства материала:

Плотность стали 09Г2С:

$$\rho_{\text{мет}} := 7850 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

Коэффициент прочности сварных швов (Сварка аппарата полуавтоматическая):  
длина шва 100% (Назначили конструктивно) согласно [3]

$$\varphi := 1$$

Допускаемое напряжение материала кожуха 09г2с при температуре 20 градусов  
(температура гидроиспытаний): [3, стр.15]

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

коэффициент запаса по пределу текучести для условий испытаний:

$$n_t := 1.1$$

Поправочный коэффициент  $\eta$ :

$$\eta := 1$$

Допускаемое напряжение для условий испытаний:

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

Допускаемое напряжение материала 09г2с при рабочей температуре кожуха

$t_1 = 30$  °C: [3]

$$\sigma_{30} := 273 \quad \text{МПа}$$

$$\sigma_{д30} := \text{Floor} \left[ \text{interp} \left[ \left( \begin{array}{c} 8 \\ 30 \end{array} \right), \left( \begin{array}{c} 273 \\ 273 \end{array} \right), t_1, 0.5 \right] \right] = 273 \quad \text{МПа}$$

*Прибавки к расчетным толщинам конструктивных элементов:*

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

Скорость коррозии материала аппарата определяем от действия заданной среды:

$$P := 0.1 \quad \frac{\text{мм}}{\text{год}}$$

Срок эксплуатации аппарата:

$$\tau := 20 \quad \text{Лет}$$

Прибавка для компенсации коррозии и эрозии:

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

Прибавка для компенсации минусового допуска;

$$c_2 := 2 \quad \text{мм}$$

Технологическая прибавка;

$$c_3 := 1 \quad \text{мм}$$

Прибавки к расчетным толщинам конструктивных элементов:

$$c := c_1 + c_2 + c_3 = 5 \quad \text{мм}$$

*Расчет давлений*

Определить гидростатическое давление в аппарате:

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

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

Высоту гидростатического столба в аппарате принимаем равной диаметру аппарата.

$$H_{\text{гид}} := \frac{D}{1000} = 2.4 \quad \text{м}$$

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

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

Расчетное давление в емкости при рабочих условиях:

$$P_{\text{рас}} := P_1 + P_{\text{гид}} = 2.223 \quad \text{Мпа}$$

Давление при гидравлических испытаниях:

$$P_{и} := 1.25 \cdot P_{рас} \cdot \frac{\sigma_{и20}}{\sigma_{д30}} = 2.779 \quad \text{МПа}$$

Условное давление:

$$P_{усл} := P_{рас} \cdot \frac{\sigma_{и20}}{\sigma_{д30}} = 2.223 \quad \text{МПа}$$

#### 4.1.2. Расчет толщины стенки цилиндрической обечайки (кожуха):

Расчет проводим [5, стр. 5]

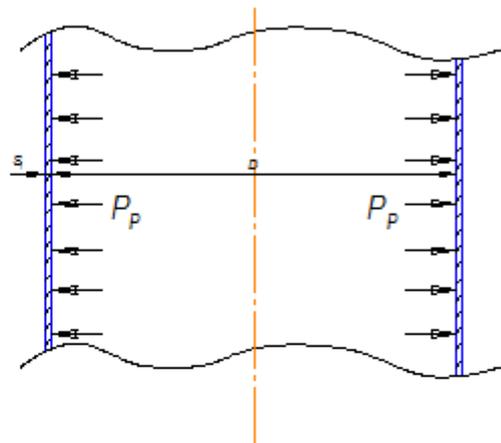


Рисунок 4.1.1 - Расчетная схема обечайки.

Расчетная толщина стенки цилиндрической обечайки при внутреннем избыточном давлении:

$$s_{p1} := \max\left(P_{рас} \cdot \frac{D}{2 \cdot \varphi \cdot \sigma_{д30} - P_{рас}}, P_{и} \cdot \frac{D}{2 \cdot \varphi \cdot \sigma_{и20} - P_{и}}\right) = 12.279 \quad \text{мм}$$

Исполнительная толщина стеки аппарата:

$$s_{и1} := s_{p1} + c = 17.279 \quad \text{мм}$$

Принимаем толщину для корпуса аппарата:

$$s_{ww} := 25 \quad \text{мм}$$

Проверка условий применимости формул без моментной теории:

$$Usl\_3 := \begin{cases} \text{"Формулы применимы"} & \text{if } \frac{s-c}{D} \leq 0.1 \\ \text{"Формул НЕ верны"} & \text{if } \frac{s-c}{D} > 0.1 \end{cases} = \text{"Формулы применимы"}$$

Расчет допускаемого внутреннего избыточного давления при рабочих условиях:

$$P_{д1} := \frac{2 \cdot \sigma_{д30} \cdot \varphi \cdot (s - c)}{D + (s - c)} = 4.512 \quad \text{МПа}$$

Расчет допускаемого внутреннего избыточного давления при условиях испытаний:

$$P_{и2} := \frac{2 \cdot \sigma_{и20} \cdot \varphi \cdot (s - c)}{D + (s - c)} = 4.512 \quad \text{МПа}$$

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

$$Usl\_4 := \begin{cases} \text{"Усл. выполняется"} & \text{if } P_{д1} > P_{рас} \\ \text{"Усл. прочности НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases} = \text{"Усл. выполняется"}$$

$$P_{д1} = 4.512 \quad \text{МПа} \quad P_{рас} = 2.223 \quad \text{МПа}$$

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

$$Usl\_5 := \begin{cases} \text{"Усл. выполняется"} & \text{if } P_{и2} > P_{рас} \\ \text{"Усл. прочности НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases} = \text{"Усл. выполняется"}$$

$$P_{и2} = 4.512 \quad \text{МПа} \quad P_{рас} = 2.223 \quad \text{МПа}$$

4.1.3. Расчет толщины стенки крышка корпуса:

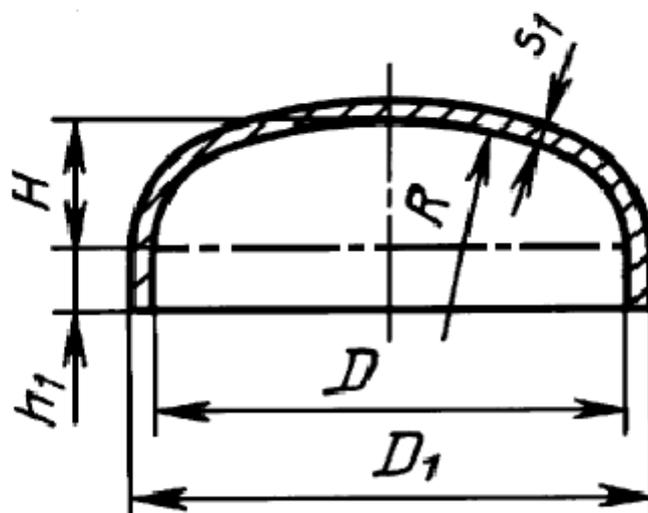


Рисунок 4.1.2. - Крышка эллиптическая отбортованная стальная.

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

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

Расчет толщины стенки крышки под действием внутреннего давления:

$$s_{p2} := \max \left( \left( \begin{array}{l} P_{рас} \cdot \frac{R_1}{2 \cdot \varphi \cdot \sigma_{д30} - 0.5 \cdot P_{рас}} \\ P_{и2} \cdot \frac{R_1}{2 \cdot \varphi \cdot \sigma_{и20} - 0.5 \cdot P_{и2}} \end{array} \right) \right) = 19.917 \quad \text{мм}$$

Исполнительная толщина стенки аппарата:

$$s_{и2} := s_{p2} + c = 24.917 \quad \text{мм}$$

Принимаем толщину днища:

$$s_2 := 25 \quad \text{мм}$$

Проверка условий применимости формул без моментной теории:

$$Usl\_9 := \begin{cases} \text{"Усл. применения формул выполняются"} & \text{if } 0.002 \leq \frac{s_2 - c}{D} \leq 0.1 \\ \text{"Усл. применения формул НЕ выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

**Usl\_9 = "Усл. применения формул выполняются"**

Расчет допускаемого внутреннего избыточного давления при рабочих условиях:

$$P_{д5} := \frac{2 \cdot \sigma_{д30} \cdot \varphi \cdot (s_2 - c)}{R_1 + (s_2 - c)} = 4.512 \quad \text{МПа}$$

Расчет допускаемого внутреннего избыточного давления при условий гидротиспытаний:

$$P_{д6} := \frac{2 \cdot \sigma_{и20} \cdot \varphi \cdot (s_2 - c)}{R_1 + (s_2 - c)} = 4.512 \quad \text{МПа}$$

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

$$Usl\_10 := \begin{cases} \text{"Усл. прочности стенки днища выполняется"} & \text{if } P_{д5} > P_{рас} \\ \text{"Усл. прочности НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

**Usl\_10 = "Усл. прочности стенки днища выполняется"**

$$P_{д5} = 4.512 \quad \text{МПа} \quad P_{рас} = 2.223 \quad \text{МПа}$$

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

$Usl_{11} := \begin{cases} \text{"Условие прочности стенки днища выполняется"} & \text{if } P_{д6} \geq P_{и2} \\ \text{"Условие прочности НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$

$Usl_{11} = \text{"Условие прочности стенки днища выполняется"}$

$P_{д6} = 4.512 \text{ МПа} \quad P_{и2} = 4.512 \text{ МПа}$

$H := D \cdot 0.25 = 600 \text{ мм}$

$h := 150 \text{ мм}$

#### 4.1.4. 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 коррозии.

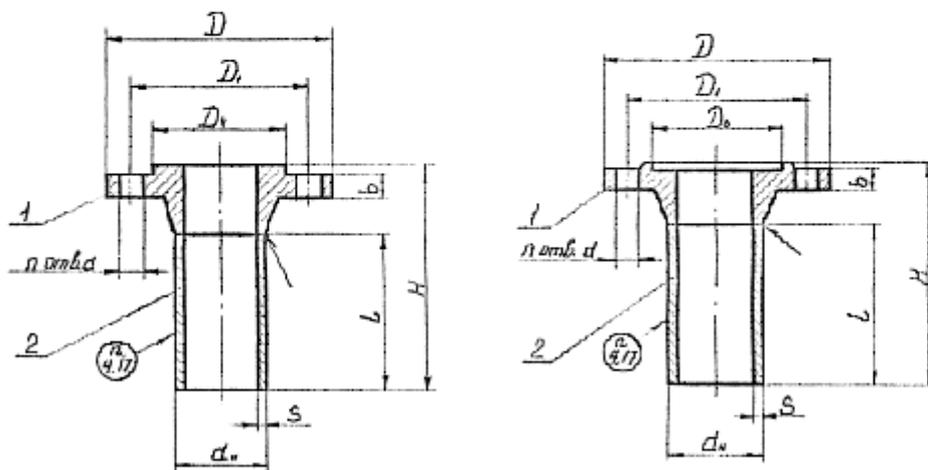


Рисунок 6 - штуцер с фланцами приваренными встык с уплотнительной поверхностью типа выступ впадина

Таблица наименования

Обоз.	Наименования	Кол.	Dy, мм	Py, мм
А	Вход газожидкостной смеси	1	150	4
Б	Выход конденсата газ	1	150	4
В	Для Предохранительного клапана	1	100	4
М	Люк	1	450	4

Штуцер 100 - 4,0 - 2 - 2 - 09г2с ATK 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 09г2с, патрубок из стали 09г2с.

Штуцер 150 - 4,0 - 2 - 2 - 09г2с ATK 24.218.06.90

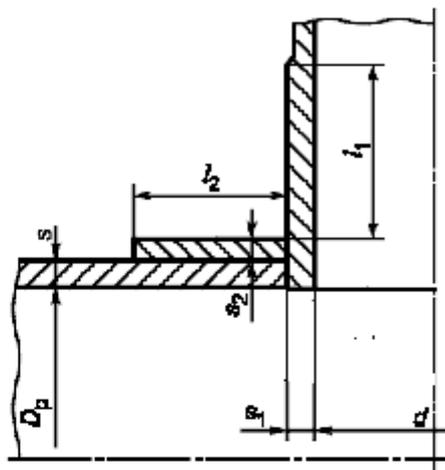


Рисунок 4.1.4. - Укрепление отверстий при наличии проходного штуцера

Расчет проводим: согласно [6]

Расчетный диаметр укрепляемых элементов:

Для цилиндрической оболочки:

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

Диаметр отверстий штуров входа газожидкостной смеси :

$$d_1 := 150 \quad \text{мм}$$

Диаметр отверстий люка:

$$d_2 := 450 \quad \text{мм}$$

Расчетный диаметр отверстий патрубков штуцеров ГЖС:

$$d_{p1} := d_1 + 2 \cdot c = 160 \quad \text{мм}$$

Расчетный диаметр отверстий патрубков штуцеров люка:

$$d_{p2} := d_2 + 2 \cdot c = 460 \quad \text{мм}$$

Условие применимости формул к штуцерам :

$$Us1\_19 := \begin{cases} \text{"Условия не выполняются"} & \text{if } \frac{d_{p2} - 2 \cdot c}{D} > 1 \wedge \frac{s - c}{D} > 0.1 \\ \text{"Условия применения формул выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Us1\_19 = "Условия применения формул выполняются"

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

$$d_{01} := 2 \cdot \left[ \left( \frac{s - c}{s_{p1}} \right) - 0.8 \right] \cdot \sqrt{D_p \cdot (s - c)} = 363.138 \quad \text{мм}$$

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

$$d_{02} := 2 \cdot \left[ \left( \frac{s_2 - c}{s_{p1}} \right) - 0.8 \right] \cdot \sqrt{D_p \cdot (s_2 - c)} = 363.138 \quad \text{мм}$$

Укрепление отверстий для входа газожидкостной смеси и для выхода нестабильного конденсата

$$Usl\_20 := \begin{cases} \text{"необходимо укрепление отверстия"} & \text{if } d_{p1} > d_{02} \\ \text{"укрепление отверстия не требуется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

**Usl\_20 = "укрепление отверстия не требуется"**

$$d_{p1} = 160 \quad \text{мм} \quad d_{02} = 363.138 \quad \text{мм}$$

Проверка необходимости укреплять отверстия штуцера люка.

$$Usl\_21 := \begin{cases} \text{"необходимо укрепление отверстия"} & \text{if } d_{p2} > d_{01} \\ \text{"укрепление отверстия не требуется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

**Usl\_21 = "необходимо укрепление отверстия"**

$$d_{p2} = 460 \quad \text{мм} \quad d_{01} = 363.138 \quad \text{мм}$$

Расчетный диаметр укрепляемых элементов:

$$D_{p2} := D = 2.4 \times 10^3 \quad \text{мм}$$

*Расчет укрепления отверстия штуцера входа сырья: [6]*

Для дальнейшего расчета необходимо определить расчетную толщину стенки патрубка:

$$s_{p\_ш1} := \max \left( \frac{P_{рас} \cdot d_2}{2 \cdot \sigma_{д30} \cdot \varphi - P_{рас}}, \frac{P_{и} \cdot d_2}{2 \cdot \sigma_{и20} \cdot \varphi - P_{и}} \right) = 2.302 \quad \text{мм}$$

Исполнительная толщина стеки патрубка штуцера:

$$s_{и\_ш1} := s_{p\_ш1} + c = 7.302 \quad \text{мм}$$

Исполнительная толщина стенки патрубка штуцера:

$$s_{и\_ш1} := s_{р\_ш1} + c = 7.302 \quad \text{мм}$$

Принимаем толщину патрубка штуцера:

$$s_{ш1} := 10 \quad \text{мм}$$

Укрепление отверстий осуществляется за счет укрепляющего кольца:

$$\sigma_{д30} = 273 \quad \text{МПа}$$

Допускаемое напряжение для материала внешней части штуцера при расчетной температуре:

$$\sigma_{д1} := \sigma_{д30} = 273 \quad \text{МПа}$$

Допускаемое напряжение для материала накладного кольца при расчетной температуре:

$$\sigma_{д2} := \sigma_{д30} = 273 \quad \text{МПа}$$

Отношения допускаемых напряжений:  
- для внешней части штуцера:

$$\chi_1 := \min\left(1, \frac{\sigma_{д1}}{\sigma_{д30}}\right) = 1$$

для накладного кольца:

$$\chi_2 := \min\left(1, \frac{\sigma_{д2}}{\sigma_{д30}}\right) = 1$$

Толщина укрепляющего кольца: (задаемся конструктивно)

$$s_3 := 14 \quad \text{мм}$$

Расчетная ширина накладного кольца:

$$l_2 := \text{ceil}\left[\sqrt{D_{p2} \cdot (s + s_3 - c)}\right] = 286 \quad \text{мм}$$

Принимаем ширину накладного кольца:

$$l_2 := 300 \quad \text{мм}$$

Длина внешней части штуцера:

$$l_1 := 1.25 \cdot \sqrt{(d_2 + 2 \cdot c) \cdot (s_{ш1} - c)} = 59.948 \quad \text{мм}$$

Принимаем длину патрубка конструктивно для удобства монтажа:

$$l_1 := 180 \quad \text{мм}$$

Расчетный диаметр отверстия, не требующий дополнительного укрепления,

$$d_{op} := 0.4 \cdot \sqrt{D_{p2} \cdot (s - c)} = 87.636 \quad \text{мм}$$

$$A_1 := l_1 \cdot (s_{ш1} - s_{p\_ш1} - c) \cdot \chi_1 + l_2 \cdot s_3 \cdot \chi_2 = 4.686 \times 10^3 \quad \text{мм}^2$$

$$A_2 := 0.5 \cdot (d_1 - d_{op}) \cdot s_{ш1} = 311.822 \quad \text{мм}^2$$

условие укрепления штуцера:

$$\text{усл}_{\text{укрепления1}} := \begin{cases} \text{"усл. укреплеия отверстия выполняется"} & \text{if } A_1 \geq A_2 \\ \text{"усл. не выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{усл}_{\text{укрепления1}} = \text{"усл. укреплеия отверстия выполняется"}$$

Ширина зоны укрепления в обечайке:

$$L_{0\text{люк}} := \sqrt{D_{p2} \cdot (s - c)} = 219.089 \quad \text{мм}$$

Расчетная ширина зоны укрепления в обечайке:

$$l_p := L_{0\text{люк}} = 219.089 \quad \text{мм}$$

Коэффициент понижение прочности:

$$K_1 := 1$$

$$V := \frac{1 + \frac{l_1 \cdot (s_{ш1} - c) \cdot \chi_1 + l_2 \cdot s_3 \cdot \chi_2}{l_p \cdot (s - c)}}{1 + 0.5 \cdot \frac{d_2 - d_{02}}{l_p} + K_1 \cdot \frac{450 + 2 \cdot c}{D_{p2}} \cdot \frac{\varphi}{\varphi} \cdot \frac{l_1}{l_p}} = 1.596$$

Допускаемое давление штуцера при рабочих условиях:

$$P_{D\_ш1} := \frac{2 \cdot K_1 \cdot (s_{ш1} - c) \cdot \varphi \cdot \sigma_{Д1} \cdot V}{450 + (s_{ш1} - c) \cdot V} = 9.515 \quad \text{МПа}$$

Допускаемое давление штуцера при гидраиспытаниях:

$$P_{D\_ш2} := \frac{2 \cdot K_1 \cdot (s_{ш1} - c) \cdot \varphi \cdot \sigma_{и20} \cdot V}{450 + (s_{ш1} - c) \cdot V} = 9.515 \quad \text{МПа}$$

Проверка условия прочности стенок, штуцера при рабочих условиях:

$$\text{Условие}_{\text{прочности\_шт1}} := \begin{cases} \text{"Усл. прочности выполняется"} & \text{if } P_{D\_ш1} \geq P_{\text{рас}} \\ \text{"Усл.НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{Условие}_{\text{прочности\_шт1}} = \text{"Усл. прочности выполняется"}$$

$$P_{D\_ш1} = 9.515 \quad \text{МПа} \quad P_{\text{рас}} = 2.223 \quad \text{МПа}$$

Проверка условия прочности стенок, штуцера при гидраиспытаниях:

$$\text{Условие}_{\text{прочности\_шт2}} := \begin{cases} \text{"Усл. прочности выполняется"} & \text{if } P_{\text{д\_шт2}} \geq P_{\text{и}} \\ \text{"Усл. НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Условие<sub>прочности\_шт2</sub> = "Усл. прочности выполняется"

$$P_{\text{д\_шт2}} = 9.515 \quad \text{МПа} \quad P_{\text{и}} = 2.779 \quad \text{МПа}$$

4.1.5. Расчет веса аппарата:

Расчет веса корпуса аппарата:

$$D := 24 \quad \text{м}$$

Толщина стенки межтрубного пространства кожуха:

$$s_1 := 0.025 \quad \text{м}$$

Плотность материала сталь 09г2с:

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

$$\rho_v := 1000 \quad \text{плотность воды кг/м}^3$$

Вес кожуха обечайки

$$G_1 := \pi \cdot \left[ \frac{(D + 2 \cdot s_1)^2 - D^2}{4} \right] \cdot 5.7 \cdot \rho_{\text{мет1}} \cdot g = 8.274 \times 10^5 \quad \text{Н}$$

Масса днища: согласно [2, стр. 441]

$$m_{\text{дн2}} := 329 \quad \text{кг}$$

Вес эллиптической крышки аппарата:

$$G_2 := m_{\text{дн2}} \cdot g = 3.224 \times 10^3 \quad \text{Н}$$

Вес все патрубков и элементов емкости

$$G_3 := G_1 \cdot 0.25 \cdot g = 2.027 \times 10^6 \quad \text{Н}$$

Вес пустой емкости

$$G_e := G_1 + G_2 + G_3 = 2.858 \times 10^6 \quad \text{Н}$$

Вес емкости наполненной водой

$$V := \frac{(\pi \cdot D^2)}{4} \cdot H \cdot \rho_v \cdot g = 2.66 \times 10^9$$

#### 4.1.6. Выбор стандартной опоры аппарата.

[2, стр. 681].

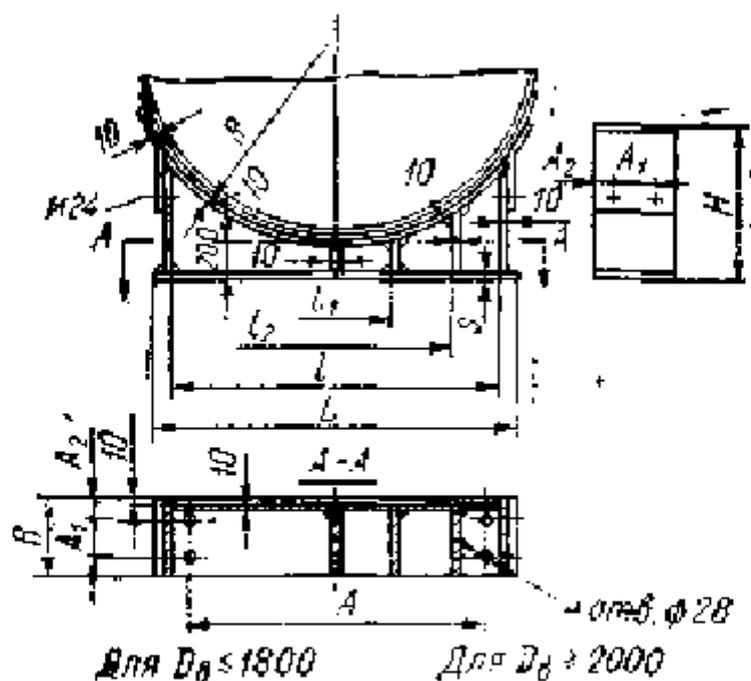


Рисунок 15 - Опоры горизонтальных аппаратов типа ОГ с внутренним диаметром 2400 мм.

Таблица 4.1.2. Опоры горизонтальных аппаратов типа ОГ с внутренним диаметром 2400 мм

G	L	D	H	l	B	R	s
H	мм						
20000	2120	2400	440	1050	450	1224	18

## 5 Монтаж

При монтаже технологического оборудования применяются все возможные такелажные оборудования и оснастка: монтажные мачты, порталы, швелера, траверсы, полиспасты, лебедки, якоря, канаты, и прочее оборудование. Технически грамотное использование их при условии обеспечения безопасности ведения монтажных работ без излишних запасов прочности связано с расчетом этого оборудования и оснастки.

Расчет такелажных средств и оснастки сводится к решению следующих двух задач: 1 Определить максимальных расчетных усилий, возникающих в различных элементах такелажных средств, в процессе подъема и перемещения оборудования и конструкций.

2 Определение конструктивных размеров этих элементов с учетом максимальных нагрузок, действующих на них, или подбор стандартного такелажного оборудования по расчетным нагрузкам.

Все расчеты такелажной оснастки выполнены с учетом требований "Инструкции по проектированию, изготовлению и эксплуатации монтажных приспособлений" соответствующих СНиП 23-81 "Стандартные конструкции. Нормы проектирования" и отраслевому стандарту "Канаты стальные такелажных средств" (ОСТ 36-73-82)

Монтаж колонных аппаратов ведется следующими основными способами:

- методом скольжения от рывом от земли

Монтаж колонны производится в полностью собранном виде. Доставка аппарата производится на автотранспорте.

В дипломном проекте необходимо осуществить монтаж ректификационной колонны массой 14000 кг, высотой 26204 мм, диаметром 1200 мм. на фундамент 500 мм. Монтаж осуществляется на открытой площадке с помощью крана РДК-25.

### 5.1 Расчет стропа

Вес аппарата:  $G_0 := 13920$  кг

Монтаж производим за монтажные уши. Ускорение свободного падения:

$$g := 10 \frac{M}{c^2}$$

Усилие приложенное к стропу:  $P := G_0 \cdot g = 1.392 \times 10^5$  Н

$$P := 139 \text{ кН}$$

Зададим угол между стропом и усилием P:  $\alpha := 30 \text{deg}$

Количество ветвей стропа:  $m := 4$

Тогда натяжение в одном канатном витке стропа равно:

$$S := \frac{P}{m \cdot \cos(\alpha)} = 40.126 \text{ кН}$$

Коэффициент запаса прочности:  $K_3 := 6$

Разрывное усилие:  $R_k := S \cdot K_3 = 240.755$  кН

Подбираем канат: гибкий типа ЛК-РО конструкции 6\*36(1+7+7/7+14)+1 о.с.  
(ГОСТ 7668-80)

С характеристиками:

-временное сопротивление разрыву 1764 МПа

-разрывное усилие 258,5 кН

-диаметр каната 22 мм

-масса 1000 м каната 1830 кг

## 5.2 Расчет полиспаста

Усилие, действующее на крюке подвижного блока:

$$P_p := 10G_0 = 1.392 \times 10^5 \text{ Н} \quad \text{или} \quad P_{p,кН} := 139 \text{ кН}$$

Усилие, действующее на неподвижный блок полиспаста:  $P_H := 1.1P_p = 152.9 \text{ кН}$

Выбираем монтажные блоки типа БМ-63 с характеристиками:

-грузоподъемность 63 т.;

-количество роликов 1;

-диаметр роликов 630 мм;

-диаметр каната (максимальный) 43,5 мм;

-масса блока 405 кг;

$$d_p := 630 \text{ мм}$$

Общее количество роликов в полиспасте без учета в отводных:

$$m_n := 2$$

Задаемся количеством отводных блоков равным 2:

$$\eta := 0.960$$

Усилие в сгибающей ветви полиспаста:

$$S_p := \frac{P_p}{m_n \cdot \eta} = 72.396 \text{ кН}$$

Разрывное усилие в сбегающей ветви полиспаста:

$$\text{Коэффициент запаса прочности: } K_3 := 6$$

$$R_K := S_p \cdot K_3 = 434.375 \text{ кН}$$

Выбираем канат для полиспаста гибкий типа ЛК-РО конструкции 6\*36 (1+7+7/7+14)  
+1 о.с. (ГОСТ 7668-80), с характеристиками:

-временное сопротивление разрыву 1960 МПа;

-разрывное усилие 493,5 кН;

-диаметр каната 29 мм;

-масса 1000 м каната 3215 кг;

$$d := 29 \text{ мм}$$

$$g_k := 3.215 \text{ т}$$

Высота подъема аппарата:  $h := 15000$  мм

Зададим длину сбегавшей ветви полиспаста от ролика до барабана лебедки:

$$l_1 := 100 \text{ м}$$

$$l_2 := 30 \text{ м}$$

$$\text{Длина каната для оснастки: } L_{\text{к}} := m_n \cdot (h \cdot 10^{-3} + 3.14 \cdot d_p \cdot 10^{-3}) + l_1 + l_2 = 163.956 \text{ м}$$

Суммарная масса полиспастов:

Масса каната:

$$G_k := \frac{L \cdot g_k}{1000} = 0.527 \text{ т}$$

$$\text{Масса блоков: } G_b := 2 \cdot 0.405 = 0.81 \text{ т}$$

$$G_p := G_k + G_b = 1.337 \text{ т}$$

Усилие, действующее на канат, закрепляющий неподвижный блок полиспаста:

$$P_b := 10G_0 \cdot 10^{-3} + 10G_p + S_p = 224.967 \text{ кН}$$

Подбираем канат для крепления верхнего блока полиспаста из 4 ветвей.

Коэффициент запаса:  $K_3 := 6$

$$R_{\text{к}} := \frac{6P_b}{m} = 337.451 \text{ м} = 4$$

Канат гибкий типа ЛК-РО конструкции 6\*36 (1+7+7/7+14)+1о.с. (ГОСТ 7668-80), с характеристиками:

- временное сопротивление разрыву 1960 МПа;
- диаметр каната 29 мм;
- разрывное усилие 493,5 кН;
- масса 1000 м каната 3215 кг;

$$d = 29 \text{ мм}$$

$$g_k = 3.215 \text{ т}$$

По усилию сбегавшей ветви полиспаста  $S_0 = 72.396$  кН

Выбираем лебедку типа 114-ТЯ с характеристиками:

- тяговое усилие 75 кН;
- канатоемкость 185 м;
- диаметр каната 29 мм;
- скорость навивки каната 27 м/мин;
- число слоев навивки 3;
- диаметр барабана 750 мм;
- длина барабана 1670 мм;
- мощность электродвигателя 30 кВт;
- масса с канатом 3,2 т.

Выбираем кран марки РДК-25 с характеристиками:

-грузоподъемность на опорах 25 т.

-вылет крюка 6,2 м.

-длина стрелы 32 м.

-скорость подъема 7,8-15,6 м/мин.

-масса 25 т.

## **6. СИСТЕМА АВТОМАТИЗАЦИИ**

### **ОПИСАНИЕ**

Система автоматизации технологического процесса УДСК выполнена в соответствии с нормами и правилами, действующими в газовой промышленности.

Приборы контроля и автоматизации соответствуют категории производства по взрыво- и пожароопасное™, классу взрывоопасных и пожароопасных зон, категориям и группам взрывоопасных веществ.

Объем контроля и автоматизации обеспечивает охрану труда, безопасную эксплуатацию технологического оборудования УДСК в соответствии с действующими нормами и правилами по охране труда, техники безопасности и промсанитарии.

Объем контроля и автоматизации процесса стабилизации конденсата обеспечивает надежную работу технологического оборудования, автоматическую защиту его при возникновении аварийных режимов и ситуаций, дистанционное управление блоками и запорной арматурой, аварийную и технологическую сигнализацию.

Оснащение установки стабилизации средствами контроля и автоматизации.

Автоматика контроля и управления работоспособностью приточных вентсистем обеспечивает:

- дистанционное управление аварийными вытяжными вентиляторами;
- аварийную сигнализацию при загазованности производственных помещений и

включение аварийных вытяжных вентиляторов.

Контроль загазованности в воздухе рабочей зоны и определение предельно-допустимых концентраций (ПДК) и нижнего предела взрываемости (НПВ) по метану и углеводородам осуществляется с помощью сигнализаторов типа "СТМ-30".

Система довзрывоопасной концентрации метана в воздухе рабочей «зоны» обеспечивает:

- автоматическое включение аварийно-вытяжных вентиляторов, прерывистую световую сигнализацию по месту и на пульте оператора при достижении концентрации метана 10% от НКВП;

- непрерывную световую сигнализацию о загазованности по месту и на пульте при достижении концентрации метана 20% от НКВП (далее оператор принимает решение о необходимости включения системы противоаварийной защиты;

- местное и дистанционное управление аварийно-вытяжными вентиляторами, сигнализацию их состояния на пульт оператора, контроль наличия напряжения в цепях управления.

Пожарная сигнализация в здании УДСК и оповещение о пожаре.

Система пожаробнаружения выполняет защиту основных и вспомогательных помещений.

Технические решения по системе пожаробнаружения приняты в соответствии со структурой УДСК. В качестве приёмных станций пожарной сигнализации применяются контроллеры системы автоматического пожаротушения типа КСАЦ-01, выпускаемые ЗАО «Эмикон» г.Москва, которые принимают сигналы от любого типа извещателей пожарной сигнализации и предназначены для управления автономными системами пожаротушения.

Взрывоопасные помещения категории «А» оборудованы тепловыми пожарными извещателями многократного действия исполнения «ИБ» типа ИП103-4/1ИБ-70, включаемые в контроллер КСАП-01 через барьер искрозащитный, обеспечивающий искробезопасность цепи

Взрывоопасные помещения категории «А», входящие в состав основных технологических корпусов и имеющие высокие потолки, оборудованы УФ/ИК детекторами пламени серии FL3100 фирмы «Deneral Monitors», Ирландия.

В помещениях с нормальной средой категории «Г» и пожароопасных категории «В» по СНиП 2.04.09-85 на потолках установлены тепловые пожарные извещатели типа ИП109-1/Б многократного действия и дымовые пожарные извещатели типа ИП212-ЗСУ.

Для ручного извещения о пожаре по периметру наружных установок, у входов в здания, на каждой лестничной площадке многоэтажного здания на путях эвакуации установлены ручные пожарные извещатели типа ИПР.

Нерасшифрованный сигнал о пожаре из операторной площадки УКПГ передается по кабельным линиям связи в пождепо.

Объём контроля и автоматизации процесса деэтанизации конденсата на УСК приведён в таблице №5.2

Условные обозначения средств контроля и автоматики, запорной, предохранительной и регулирующей арматуры, примененные в настоящем разделе и в технологической схеме раздела приведены в таблице №7.1.

Таблица 6.1

<b>PI</b>	- манометр показывающий
<b>PT</b>	- датчик давления
<b>PISA</b>	- электроконтактный манометр
<b>TI</b>	- термометр показывающий
<b>TE</b>	- датчик температуры
<b>FE</b>	- датчик расхода (камерная диафрагма, счетчик жидкости)
<b>LA,LT</b>	- датчик уровня
<b>dPT</b>	- датчик перепада давления
<b>QA</b>	- датчик загазованности воздуха с сигнализацией
<b>КлР</b>	- клапан регулирующий
<b>КОт</b>	- клапан отсечной
<b>ЗЭ</b>	- задвижка с электроприводом
<b>м</b>	- мотор электродвигателя

## 7. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

В данном дипломном проекте является установка деэтанализации стабилизации конденсата газа (УДСК). предназначена для переработки газового конденсата с получением углеводородных газов, сжиженной широкой фракции легких углеводородов (ШФЛУ) и стабильного конденсата.

Сырьем УДСК является конденсат, поступающий с установки низкотемпературной сепарации (УНТС) Мыльджинского газоконденсатного месторождения. ОСТ 51.40-74 "Газы горючие природные, подаваемые в магистральные газопровод" [1] и согласно ОСТ 51.65-80 «Конденсат газовый стабильный. Технические условия» [2].

### 7.1. ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

Таблица 7.1.1- Опасные и вредные факторы при выполнении работы установки деэтанализации стабилизации конденсата(ГОСТ 12.003-74) [3].

Источник фактора наименование работ	Факторы (по ГОСТ 12.003-74)		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	

<p>Ведение технологического процесса. Обслуживание установки УДСК</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• повышенная или пониженная температура воздуха рабочей зоны</li> <li>• повышенный уровень шума и вибрации на рабочем месте;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Опасность поражения электрическим током прямыми ударами молнии</li> <li>• Опасность взрыва и пожара</li> </ul>	<p>ГОСТ 12.1.003-78 [4]  Р 2.2.755-99[5]  ГОСТ 12.1.005-88[6]  ГОСТ 12.1.018-93[7]  РД 34.21.122-87[8]  ГОСТ 12.1.007-76[9]  ГОСТ 12.1.003-83 [10]  ГОСТ 12.4.011-89[11]</p>
---	--	---	--

### 7.1.1. ПОВЫШЕННАЯ ИЛИ ПОНИЖЕННАЯ ТЕМПЕРАТУРА ВОЗДУХА РАБОЧЕЙ ЗОНЫ

Метеоусловия зависят от состояния воздушной среды и характеризуются следующими элементами: температурой, влажностью, скоростью движения воздуха, тепловым излучением нагретых поверхностей оборудования и обработыванием деталей и материалов. Для обеспечения этих условий в пределах санитарных норм и поддержанием теплового равновесия между теплом человека и окружающей средой на производстве необходимо проводить ряд мероприятий:

- механизация и автоматизация тяжелых работ;
- дистанционное управление теплоизлучающими процессами и аппаратами;
- рациональное размещение и теплоизоляция оборудования, аппаратов и трубопроводов, излучающих тепло;
- для предупреждения переохлаждений и простудных заболеваний у входа в цех устраивают тамбуры. Для работающих на холоде, предусматривают специально оборудованные помещения для обогрева;

С целью создания нормальных условий работы персонала установлены нормы производственного микроклимата. Эти нормы устанавливают оптимальные и допустимые значения температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха с учетом (СН-245-71)[12], тяжести выполняемых работ и сезонов года.

Микроклиматические показатели относятся к числу основных факторов, характеризующих условия труда работающих. Их значения заносят в санитарно-технический паспорт производственного объекта. Мероприятия по доведению микроклиматических показателей до нормативных значений включаются в комплексные планы предприятий по охране труда, составляемые администрацией ежегодно.

Нормативные показатели производственного микроклимата установлены ГОСТ 12.1.005-88[6] «Воздух рабочей зоны. Общие санитарно-гигиенические требования», а также СНИП 2.2.4.584-96. Этими нормами регламентируют показатели микроклимата в

рабочей зоне производственного помещения: температуру, относительную влажность, скорость движения воздуха и тепловое излучение

Нормами установлены оптимальные и допустимые температуры относительная влажность и скорость движения воздуха в зависимости от характера производственных помещений, категории выполняемой работы и времени года.

Согласно санитарным нормам, производственные помещения по избыткам явного тепла, изменяющего температуру воздуха в помещениях, условно подразделяют на холодные, характеризуемые незначительными избытками явного тепла (не более 20 ккал/час на 1 м куб.) и горячие, характеризуемые значительными избытками явного тепла (более 20 ккал/час на 1 м куб).

Различают теплый и холодный период года. Теплый период года характеризуется среднесуточной температурой наружного воздуха + 10°C и выше, холодный - ниже + 10°C.

Для операторной УДСК существует оптимальная и допустимая норма температуры, относительно влажности и скорости движения воздуха в рабочей зоне.

Оптимальные микроклиматические условия - это такое сочетание параметров микроклимата, которое при длительном воздействии на человека обеспечивает ощущение теплового комфорта и создает предпосылки для высокой работоспособности.

Допустимые микроклиматические условия — это такое сочетание параметров микроклимата, которые при длительном воздействии на человека не могут вызвать дискомфортные теплоощущения и понижения работоспособности.

Для холодного периода года оптимальные и допустимые параметры микроклимата следующие:

- оптимальная температура воздуха 20-23 °С;
- допустимая температура воздуха 19-25 °С;
- оптимальная относительная влажность 40-60%;
- допустимая относительная влажность 75%;
- оптимальная скорость движения воздуха до 0,2 м/сек.;
- допустимая скорость движения воздуха до 0,2 м/сек..

Для теплого периода года оптимальные и допустимые параметры микроклимата следующие:

- температура воздуха 18-22 °С;
- относительная влажность 40-60%;
- скорость движения воздуха до 0,2 м/сек..

Все показатели в операторной соответствуют стандартным нормам СН 245-71.

### **Средства защиты работников**

В соответствии с законодательством РФ о труде по ГОСТ 12.4.011-89, обслуживающий персонал УДСК обеспечивается средствами индивидуальной защиты (СИЗ):

Для защиты обслуживающего персонала от возможных вредных и опасных производственных и метеорологических факторов используются различные приспособления и одежда:

1. спецодежда зимняя и летняя, предназначенная для защиты рабочих от вредных воздействий, а также от холода;
2. спецобувь, предназначенная для предохранения ног от механических повреждений, от опасностей и вредностей производства, защиты от низких температур;
3. головные уборы для защиты головы от механических повреждений (каска, подшлемник), холода и атмосферных осадков;
4. рукавицы для предохранения рук от механических повреждений, загрязнений, от холода;[11]

### **7.1.2. ПОВЫШЕННЫЙ УРОВЕНЬ ШУМА И ВИБРАЦИИ НА РАБОЧЕМ МЕСТЕ**

На данном производстве источниками шума и вибрации являются: машинный зал компрессорной, насосной и печи подогрева газа.

Повышение уровня шума и вибрации оказывает вредное воздействие на организм человека, производственное оборудование, коммуникации и сооружения. Все это предусматривает необходимость разработки и осуществления комплекса инженерно-технических и организационных мероприятий для снижения шума и вибрации до величин установленных санитарными нормами и ГОСТом 12.1.003-83. Для постоянных рабочих мест и рабочей зоны в производственном помещении и на территории предприятия допустимый уровень шума - 85 ДБА [19]. Уровень шума в боксах составляет максимально 90 и 100 ДБА. Помещения внутри боксов не являются постоянными рабочими местами. Боксы своими стенами из металла и полиуретанового пенопласта препятствуют выходу наружу шума. Обслуживающий персонал находится в боксах только при пуске и контрольных обходах. Контроль за нормальной работой машин в боксах производится из операторной. Снижение уровня шума в боксах при длительном пребывании, например при ремонтах, достигается индивидуальными средствами защиты от шума. Для

постоянных рабочих мест и рабочей зоны в производственном помещении и на территории предприятия допустимый уровень шума - 85 ДБА. [10]

Снижение шума и вибрации достигается:

- уменьшением шума и вибрации в источнике их образования;
- изоляцией источников средствами звуко- и виброизоляции, звуко- и вибропоглощения;
- принятием архитектурно - планировочных решений, предусматривающих рациональное размещение оборудования, машин и механизмов.

#### ***Средства защиты работников***

Для персонала, находящегося в зоне высокого шума, рекомендуются защитные наушники.[11]

#### **7.1.3. ОПАСНОСТЬ ПОРАЖЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ТОКОМ, ПРЯМЫХ УДАРОВ МОЛНИИ.**

Электрооборудование в здание должно отвечать требованиям правил устройств электроустановок. Все части технологического оборудования, которые проводят статическое электричество, необходимо заземлить согласно ГОСТ 12.4.124-83[13].

#### ***Средства индивидуальной защиты в зависимости от назначения в соответствии с ГОСТ 12.4.124-83.***

Для защиты персонала от поражения электрическим током применяются диэлектрические перчатки, коврики, сапоги, резиновые фартуки и прорезиненные костюмы, инструмент с изолированными ручками.[3]

#### ***Средства коллективной защиты .***

К средствам коллективной защиты от поражения электрическим током относятся: заземление, зануление, защитное отключение, изоляция, ограждение, блокировка, пониженные напряжения, сигнализация и плакаты, электрозщитные средства, электрическое разделение сетей.[3]

#### **7.1.4. .МОЛНИЕЗАЩИТА**

Предусмотрена защита зданий, сооружений, оборудования, трубопроводов от прямых попаданий ударов молнии путем присоединения корпусов установок, отдельных емкостей и аппаратов к заземляющему контуру и установкой молниеприемников. В соответствии с СН 305-77[14].

#### **7.1.5. ОПАСНОСТЬ ВЗРЫВА И ПОЖАРА**

Опасность и вредность работы на установке обусловлена применением вредных и токсичных продуктов: газ-метан с примесями азота, углекислого газа, конденсата, водоментольная смесь.

Метан удушлив, а смесь с воздухом при концентрации от 4% до 17% по объему – взрывоопасен. Газ при не герметичности оборудования трубопровода в аварийной ситуациях может выделяться в пространство рабочих помещений, в воздух рабочей зоны на наружных установках, создавая при этом пожарную и взрывную опасность. Содержание газа в воздухе в количествах, снижающих в нем концентрацию кислорода от 21% до 15% объемных при вдыхании может привести к удушью.[19]

При сепарации газожидкостной смеси на входе УДСК и в процессе низкотемпературной сепарации выделяется газовый конденсат. Газовый конденсат легко воспламеняющаяся жидкость, пары конденсата образуют с воздухом взрывную смесь. На установке регенерации метанола, а так же для впрыска и газопроводы установки НТС в качестве ингибитора гидрообразования используются метанол с концентрацией 80-95%. Метанол сильный яд, действующий на нервную и сердечно сосудистую систему человека. В смеси с воздухом при концентрации от 5,5 до 36,5% объемных взрывоопасен. Предельно допустимая концентрация метанола в воздухе рабочей зоны производственных помещений  $5\text{мг/м}^3$ . Для смазки трущихся частей механизмов на станции применяются минеральные масла, в том числе электронасосных агрегатов-масло турбинное ТП-22С. В системе продувки инертным газом применяется азот. Азот инертный газообразный газ, бесцветный, невзрывоопасный, недостаточности и удушья. Основные взрывопожароопасные, токсические характеристики сырья готовой продукции и отходов производства в таблице 3.[6]

Таблица 7.3 – Взрывопожароопасные, токсические свойства сырья, готовой продукции и отходов производства.

Наименование сырья, готовой продукции, отходов производства	Класс опасности в соответствии с ГОСТ 12.1.005-88/ Категория и	Температура, °С.	Концентрированный предел воспламенения %	Характеристика токсичности (воздействие на органы человека)	ПДК в воздухе рабочей зоны производственных помещений в соответствии с ГОСТ
---	--	------------------	--	---	---

		Вспышка	Воспламенения	самовоспламенения	Нижний предел	Верхний предел		
Конденсат углеводородный	4/ ПАТЗ	<0		>380	1,4	8	При попадании на кожу вызывает раздражение. Пары воздействуют на центральную нервную систему. Вызывает отравление.	300 мг/м <sup>3</sup>
Газ природный	4/ПАТ1				5	15	Вызывает удушье при концентрациях, снижающих содержание кислорода в атмосфере до 15-16%	300мг/м <sup>3</sup>
Метанол	3/ПАТ2	8	13	436	6,7	34,7	Сильный нервно-сосудистый яд. При приёме внутрь вызывает слепоту и смерть. Тяжёлое отравление, вызывающее слепоту, при приёме 5-10 см <sup>3</sup> . Хорошо впитывается через кожные покровы.	5 мг/м <sup>3</sup>

### **Индивидуальные средства защиты**

Для работы с вредными условиями труда, связанными с агрессивными средами, загрязнениями повышенными температурами, влажностью, рабочим установкой в соответствии с ГОСТом 12.4.034-85 [20] выдаётся спец. одежда, спец. Обувь и другие средства индивидуальной защиты.

1. Для защиты рук от воздействия вредных и агрессивных сред применяются рукавицы или голицы с кислотостойкой пропиткой.
2. Для защиты органов дыхания используют противогазы и респираторы.
3. Для защиты глаз применяют защитные очки.
4. Для предохранения кожи открытых частей тела от производственных вредностей необходимо применять защитные мази.

Для работы внутри технологического оборудования в обязательном порядке использовать только шланговые противогазы. Каждый противогаз за обслуживающим противогазом закреплён индивидуально [21].

## **7.2. ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ**

Нефтяная и газовая промышленность является на сегодняшний день одной из наиболее опасных отраслей производства по загрязнению окружающей среды.

### **7.2.1 АНАЛИЗ ВОЗДЕЙСТВИЯ ОБЪЕКТА НА АТМОСФЕРУ (ВЫБРОСЫ):**

Основным источником загрязнения атмосферы являются постоянные, технологические неизбежные выбросы. Основными источниками выделения вредных веществ в атмосферу являются технологические комплексы, расположенные на промышленных площадках УДСК. Источники выбросов в атмосферу на УДСК:

- Продувочные свечи установок, вытяжные вентиляционные установки цехов и помещений (выброс углеводородов);
- Выхлопные шахты ГПА на ДКС, дымовые трубы печей регенерации ДЭГа и метанола (выброс продуктов сгорания)

Продуктами сгорания газа являются оксиды азота и оксид углерода. В соответствии с нормами технологического проектирования для предотвращения попадания газа в производственные помещения и атмосферу, проектом обустройства должна предусматриваться полная герметизация всего оборудования, арматуры, трубопроводов, исключающая постоянные сбросы газа в атмосферу. Вся принятая запорная арматура, устанавливаемая на трубопроводах, транспортирующих газ, метанол и ДЭГ, соответствует 1 классу герметичности по ГОСТ 9544-75 [23], предохранительная арматура по ГОСТ12532-88 [24].

### **7.2.2. АНАЛИЗ ВОЗДЕЙСТВИЯ ОБЪЕКТА НА ЛИТОСФЕРУ (ОТХОДЫ):**

В процессе добычи и транспорта газа и конденсата, почва загрязняется жидкими углеводородами ( конденсатом, различными химическими реагентами и высокоминерализованными сточными водами). Углеводородный конденсат, через почвенный слой попадают в более глубокие пласты и загрязняют подземные воды. Почва может также загрязняться различными реагентами, применяемыми в технологических процессах добычи и транспорта газа, -метанолом, кислотами, щелочами, ингибиторами [22].

### **7.2.3. АНАЛИЗ ВОЗДЕЙСТВИЯ ОБЪЕКТА НА ГИДРОСФЕРУ (СБРОСЫ):**

Воды морей и океанов загрязняются в процессе освоения месторождений континентального шельфа, транспортировки нефтепродуктов и газа различными специальными судами. Водные ресурсы на УДСК загрязняют пластовые воды, выделяемые из газа. Для очистки пластовых вод предусматривается комплекс очистных сооружений. На площадке УДСК, принята отдельная система канализации: производственная и бытовая. Бытовые стоки очищают в канализационных очистных сооружениях. На площадках УДСК, промбаз, вахтовых комплексов вода расходуется на хозяйственно-питьевые, производственные нужды и пожаротушение [22].

Основные пути защиты воздушного бассейна от загрязнений – это создание технологических процессов, исключающих выбросы в атмосферу, разработка эффективных методов очистки газов от вредных примесей, создание санитарно-защитных зон и научно обоснованное размещение предприятий [22].

### 7.3. БЕЗОПАСНОСТЬ В ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ

Чрезвычайные ситуации могут быть техногенного, природного, биологического, социального или экологического характера. Пожары, взрывы, угроза взрывов относят к чрезвычайным ситуациям техногенного характера [25].

#### 7.3.1. ПОЖАРОВЗРЫВОБЕЗОПАСНОСТЬ

Классификация технологических блоков по взрывоопасности производственных процессов низкотемпературной сепарации осуществляется в соответствии с требованиями действующих нормативных технических документов в области промышленной безопасности в нефтяной и газовой промышленности, «Общих правил взрывобезопасности для взрывопожароопасных химических, нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств» ПБ09-170-97. По санитарной характеристике в соответствии со СНИП 2.09.04-87 производственные процессы низкотемпературной сепарации относятся к группе 3б.

Таблица 7.3.1 – Взрывопожарная и пожарная опасность, санитарная характеристика производственных зданий, помещений и наружных установок ПБ09-170-97.

Наименование производственных зданий, помещений	Категория взрывопожарной	Классификация зон внутри и вне помещений для выбора и УДСК-1 электро-оборудования	Группа производственных
---	--------------------------	---	-------------------------

		Класс взрывоопасной или пожароопасной зоны	Категория и группа взрывоопасных смесей ГОСТ 12.1.01 1-78	
Операторная	Д	-	-	-
Транспортная подстанция	В	-	-	-
Наружная технологическая установка	АН	В-1г	II-АТЗ	IIIб
Технологическая насосная	А	В-1а	II-АТЗ	IIIб
Здание арматурных блоков	АН	В-1г	II-АТЗ	IIIб
Площадка печей на расстоянии до 5 м от печей на расстоянии свыше 5 м от печей	АН АН	В-1г В-1г	II-АТЗ	IIIб
Склад конденсата	АН	В-1г	II-АТЗ	IIIб
Насосная товарно-сырьевого парка	А	В-1а	II-АТЗ	IIIб
Установка дегазации конденсата	АН	В-1г	II-АТЗ	IIIб
Установка дренажной ёмкости	АН	В-1г	II-АТЗ	IIIб
Блок-бокс воздушной компрессорной	В	-	II-АТЗ	IIIб

Основную долю аварий на УДСК составляют взрывы и пожары:

Взрывы и пожары на установки и сооружениях УДСК могут произойти в результате техногенных аварий, связанных с разгерметизацией оборудования или трубопроводов и выходом в окружающее пространство природного газа, паров метанола или конденсата газа, образующее с воздухом взрывоопасные смеси. При любых видах аварий в цехе конденсата газа, насосной метанола и насыщенного метанола может произойти взрыв при наличии источника инициирования воспламенения и взрывоопасной смеси в пределах концентрации.[19]

### 7.3.2. ТРЕБОВАНИЯ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ДЛЯ УСТАНОВКИ

- на коллекторах (газо- и конденсатосборных) по выходе из установок должны быть установлены обратные клапана, оборудованные обводной линией(байпасом);
- обратный клапан необходимо устанавливать и на линии от сепараторов до резервуаров с конденсатом;
- нельзя увеличивать давление нагнетания газа при перекачки конденсат в трубопроводы для сбора его в РВС.[27]

Пожарная безопасность предприятия должна соответствовать “ Правилам противопожарной эксплуатации в газовой промышленности”.

Незамерзающие пожарные гидранты на УДСК установлены на кольцевой водопроводной сети. Заданный напор воды в сети создают пожарные насосами, которые установлены на насосной станции. Здания и сооружения на производстве имеют уровень огнестойкости не ниже 2 степени.

Средства пожаротушения на УДСК:

- Огнетушители УК-30(углекислотные);
- Огнетушители ОП-10(порошковые);
- Пожарные гидранты;
- Ящики с песком;
- Пожарные щиты;
- Система азотного пожаротушения.

#### ***Система азотного пожаротушения***

Система азотного пожаротушения состоит из двух ресиверов со сжатым азотом, объемом 25 м<sup>3</sup> каждый, оснащенных запорной арматурой, трубопроводами, приборами КИПиА, предназначенную при возникновении пожара производить тушение огня в закрытом объеме печи.

Азот концентрацией не ниже 95 % об. получают из воздуха непосредственно на производственной площадке с помощью мембранной воздухоразделительной установки типа АПТ - Мб - 95М и закачивают в ресиверы.

В случае возгорания азот поступает в технологический объем и обеспечивает быстрое и надежное тушение пожара без побочного воздействия на оборудование и персонал.

Первичные средства пожаро тушения: огнетушители, кашма, противогазы, для защиты органов дыхания и зрения (фильтрующие с коробкой марки "А" и шланговые типа ПШ-1;2 применяются в воздухе с малым содержанием кислорода (менее 18% объемных)); фильтрующие противогазы марки БКФ при объемной доле свободного кислорода доле 18% и суммарной, объемной доле вредных газообразных веществ не более 0,5% [19].

#### **7.3.3. ДЛЯ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ НА ПРОИЗВОДСТВЕ ЧС ТЕХНОГЕННОГО ХАРАКТЕРА ПРЕДУСМОТРЕНО**

- Периодическое техническое обслуживание и ремонт оборудования;
- Автоматизированный контроль за производственным процессом;

- Установка современных систем защиты оборудования (предупредительная и аварийная сигнализация)

- Система оповещения;

- Молниезащита оборудования;

- Дежурная аварийная техника(расчистка подъездных дорог и территории в случае сильных снегопадов).[28]

#### **7.4.ПРАВОВЫЕ И ОРГАНИЗАЦИОННЫЕ ВОПРОСЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ**

##### **7.4.1 СПЕЦИАЛЬНЫЕ(ХАРАКТЕРНЫЕ ДЛЯ ПРОЕКТИРУЕМОЙ РАБОЧЕЙ ЗОНЫ) ПРАВОВЫЕ НОРМЫ ТРУДОВОГО ЗАКОНОДАТЕЛЬСТВА**

Согласно статье 224ТК РФ работодатель обязан соблюдать ограничения на привлечение отдельных категорий работников к выполнению тяжелых работ, во вредных и (или) опасных условиях. Например, трудовое законодательство ограничивает использование труда женщин на работах в тяжелых, вредных или опасных условия(ст.253 ТК РФ). Молодые люди не достигшие 18 лет, на вредные или опасные работы не допускаются. Об этом говорится в ст.265 ТК РФ.

У сотрудников, который заняты на работах во вредных или опасных условиях, продолжительность рабочего времени сокращается на 4 часа в неделю. То есть она не превышает 36 часов в неделю(ч.1 ст.92 ТК РФ). При этом ежедневная рабочая смена при 36-часовой рабочей неделе не может превышать 8 часов, а при рабочей неделе 30 часов и менее- 6 часов(ч.2 ст.94 ТК РФ).[29]

Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.

При проектировании объектов необходимо предусматривать максимально возможное размещение аппаратуры и оборудования вне зданий. При этом необходимо руководствоваться “Перечнем технологического оборудования нефтедобывающей и газовой промышленности, рекомендуемым для установки на открытых площадках».[30]

Компоновочные решения технологических установок на объекте должны соответствовать положениям разделов [31 ] и [32 ] настоящих норм, а так же обеспечивать нижеперечисленные требования:

- Минимальные капитальные и эксплуатационные расходы;

- Технологическую взаимозаменяемость;

- Последовательность технологических процессов с минимальным количеством встречных перекачек;

- Оптимальные размеры рабочей площади агрегатов, технологических блоков, установок;

- Деление на участки, обеспечивающие возможность опорожнения от продукта всех аппаратов и трубопроводов, расположенных на площадке;

- Свободный доступ к оборудованию, арматуре. Приборам контроля и автоматизации; свободный подъезд транспорта и размещение подъемных средств;

- Возможность проводить ремонтные работы с помощью средств механизации.

Расстояния между аппаратами, колоннами, теплообменниками и другим оборудованием, расположенными внутри одной технологической установки, следует принимать исходя из условий максимального удобства обслуживания, ремонта и выполнения требования по охране труда и пожарной безопасности в соответствии с указаниями [33].

Необходимо предусмотреть:

- Основные проходы по обслуживанию щитов управления шириной не менее 2 м;

- Основные проходы по обслуживанию компрессоров, насосов и аппаратов, имеющих местные контрольно-измерительные приборы, и проходы при наличии постоянных рабочих мест шириной не менее 1.5 м.

- Проходы между аппаратами и стенами помещений при условии кругового обслуживания - шириной не 1 м.

- Проходы для осмотра периодической проверки, регулирования аппаратов и приборов – шириной не менее 0.8 м;

- проходы между газовыми компрессорами – не менее 1.5 м. Ширина прохода малогабаритными машинами (шириной и высотой до 0.8 м.) - не менее 1 м.

- расстояние между фундаментами «в свету» для вертикальных аппаратов массой не более 40 м. должны быть не менее 3.5 м.

Территорию наружных площадок для установки технологического оборудования, требующих постоянных рабочих мест, следует проектировать с бетонным покрытием.

Установка деэтанзации и стабилизации конденсата (УДСК) должны проектировать как единый комплекс, состоять из одной или нескольких технологических линий и оборудования общего технологического назначения

Установка монтируется на открытой площадке. Состав каждой конкретного оборудования определяется заказчиком согласно проекту привязка в зависимости от конкретных условий.[34 ].

## 8. ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЙ ПОКАЗАТЕЛЬ

### 8.1.1. ПОТЕНЦИАЛЬНЫЕ ПОТРЕБИТЕЛИ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ

Продукт: Стабильный конденсат

Целевой рынок: предприятия газоперерабатывающей отрасли промышленности.

### 8.1.2. SWOT-АНАЛИЗ

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

Таблица 8.1 - SWOT-анализ

### 8.1.3. SWOT-АНАЛИЗ

Таблица 8.1. — SWOT-анализ промышленного предприятия по выпуску дизельного топлива, бензина.

	<b>Возможности</b>	<b>Угрозы</b>
<b>Внутренняя среда</b>	1. Создание новых технологий получения целевого продукта 2. Возможность расширить ассортимент продукции для удовлетворения запросов потребителей в более широком диапазоне 3. Развивающиеся конкурентные отношения 4. Выход на новые рынки в новых географических районах 5. Сокращение численности безработных 6. Разработка и развитие собственных и контролируемых каналов сбыта продукции 7. Сокращение энергозатрат за счет реализации Функциональной стратегии в области охраны труда, промышленной безопасности и экологии.	1. Поглощение более крупной компанией 2. Высокие импортные пошлины 3. Трудности поставки сырья 4. Политическая нестабильность 5. Неблагоприятное изменение курсов иностранных валют и политики иностранных правительств в области внешней торговли 6. Дефицит молодых специалистов 7. Ужесточение нормативов по загрязнению окружающей среды, необходимость ликвидации возможных производственных аварий 8. Выход из строя производственного оборудования
<b>Сильные стороны</b>	<b>СИВ</b>	<b>СИУ</b>

<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Наличие собственного производства</li> <li>2. Наличие патентов</li> <li>3. Собственная сырьевая база, высокий коэффициент замещения запасов</li> <li>4. Высокий уровень технической оснащенности нефтеперерабатывающего комплекса</li> <li>5. Устойчивое финансовое положение</li> <li>6. Стабильный кредитный рейтинг</li> <li>5. Команда высококвалифицированных специалистов</li> <li>6. Возможность расширения производства</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Добавление вакуумного блока.</li> <li>2. Выход на новые рынки</li> <li>3. Увеличение мощности установки.</li> <li>4. Повышение рентабельности активов</li> <li>5. Создание системы мотивации и стимулирования</li> <li>6. Увеличение доли рынка за счёт низкой ценовой политики</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Нарботка и укрепление конкурентных преимуществ готового продукта</li> <li>2. Укрепление имиджа предприятия</li> <li>3. Поиск оптимального поставщика</li> <li>4. Использование технологий партнёров для соответствия экологическим требованиям</li> <li>5. Увеличения экспорта в страны СНГ</li> </ol>
<b>Слабые стороны</b>	<b>Слив</b>	<b>СлиУ</b>
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Устаревшие основные фонды</li> <li>2. Наличие элементов экологической опасности производства</li> <li>3. Неустойчивое финансовое положение предприятия</li> <li>4. Слабая маркетинговая политика, и как следствие неритмичность и непредсказуемость получения заказов</li> <li>5. Стандартные методы продвижения на рынке</li> <li>6. Зависимость экспорта от трубопроводной инфраструктуры АК «Транссибнефть»</li> <li>7. Высокие затраты на энергоресурсы</li> <li>8. Низкая скорость продвижения новых технологий от этапа коммерческого предложения до промышленного применения</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Модернизация оборудования</li> <li>2. Проведение анализа окружающей среды на наличие вредных веществ</li> <li>3. Активные продажи</li> <li>4. Изучение рынков</li> <li>5. Применение нестандартных методов продвижения на рынке</li> <li>6. Разработка новой технологии для повышения качества</li> <li>7. Разработка полной автоматизации производственного процесса</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Модернизация оборудования</li> <li>2. Проведение анализа окружающей среды на наличие вредных веществ</li> <li>3. Активные продажи</li> <li>4. Изучение рынков</li> <li>5. Применение нестандартных методов продвижения на рынке</li> <li>6. Нарботка и укрепление конкурентных преимуществ готового продукта</li> <li>7. Укрепление имиджа предприятия</li> <li>8. Поиск оптимального поставщика</li> <li>9. Повышения качества продукции</li> <li>10. Разработка отечественных технологий аналогов зарубежным</li> </ol>

#### 8.1.4. РАСЧЕТ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ МОЩНОСТИ

Производственная мощность — это максимально возможный годовой выпуск продукции или объём перерабатываемого сырья при полном использовании оборудования по времени и по производительности.

Для обоснования производственной мощности предварительно установим режим работы производства и фонд времени работы оборудования[28]

Режим работы ректификации нефти – непрерывный. Работа осуществляется в две смены по двенадцать часов.

$T_{\text{кал.}}$  – календарный фонд рабочего времени.

$T_{\text{кал.}} = 365$  дней в году

$T_{\text{кал.}} = 365 \cdot 24 = 8760$  часов в году

$T_{\text{ном.}}$  = номинальный фонд рабочего времени

$T_{\text{ном.}} = T_{\text{кал.}} = 8760$  часов

$$T_{\text{эфф.}} = T_{\text{ном.}} - T_{\text{ппр.}} - T_{\text{то}}, \quad (8.1)$$

где:  $T_{\text{эфф.}}$  – эффективный фонд времени работы оборудования, час;

$T_{\text{ппр.}}$  – время простоя оборудования в связи с ППР, час;

$T_{\text{ном.}} = 8760$  часов

$T_{\text{то}}$  – время неизбежных технических остановок, час. В производстве не предусматриваются.

Время на ремонтные простои определяются согласно планов предупредительных ремонтов (ППР), который включает в себя:

Межремонтное текущее оборудование, периодические, профилактические осмотры, а также проведения всех видов ремонта, предусмотренных для конкретного вида оборудования (текущий, средний и капитальный). Время, отводимое на каждый вид ремонта, и пробеги оборудования между ремонтами регламентируются специальными нормами, называемыми нормативами системами ППР. Время между двумя смежными ремонтами называется межремонтным периодом.

Таблица 8.1.2. Нормативы системы ППР

Название	Длительность работы Между ремонтами, час.	Длительность простоя В ремонте, час.
----------	--	---

Оборудования	Текущий	Средний	Капитальный	Текущий	Средний	Капитальный
Ректификационная колонна	8000	8000	8000	760	760	760
Теплообменник	8000	8000	8000	760	760	760
Буферная емкость	8000	8000	8000	760	760	760

По нормативам определяем общее количество ремонтов в год для каждой единицы оборудования по количеству средних ремонтов за год равно:

$$n_{\text{ср}} = T_{\text{кал}} / t_{\text{ср}} - 1 \quad (8.2)$$

где:  $t_{\text{ср}}$  – пробег между средними ремонтами, час.

$T_{\text{кал}}$  – 8760 часов.

Вычсть единицу необходимо потому, что один средний ремонт совпадает с капитальным.

$$t_{\text{ср}} = 8760 / 8000 - 1 = 1$$

Количество текущих ремонтов равно:

$$n_{\text{тек}} = T_{\text{кал}} / t_{\text{тек}} - (1 - n_{\text{ср}}), \quad (8.3)$$

где:  $t_{\text{тек}}$  – пробег между текущими ремонтами.

$$n_{\text{тек}} = 8760 / 800 - (1 + 1) = 1.$$

Определяем время простоя оборудования:

$$T_{\text{ппр}} = T_{\text{тек}} - n, \quad (8.4)$$

$$T_{\text{эфф}} = 8760 - 760 = 8000 \text{ часов.}$$

$$T_{\text{ппр}} = 8760 - 8000 = 760 \text{ часов.}$$

Таблица 8.1.4. Баланс рабочего времени

Календарный фонд рабочего времени	8760 часов
Номинальный фонд рабочего времени	8760 часов
Длительность простоя в ремонте	760 часов
Эффективный фонд рабочего времени	8000 часов

Проектируемая мощность – 3000 тыс.т/год.

Мощность рассчитываем по следующей формуле:

$$M = P_{\text{час}} \cdot T_{\text{эфф}} \cdot n \quad (8.5)$$

где:  $M$  – производственная мощность;

$P_{\text{час}}$  – часовая производительность ведущего оборудования т/ч;( из материального расчета)

$T_{\text{эфф}}$  - Эффективный фонд времени оборудования = 8000 часов;

$P_{\text{тех}}$  = количество однотипного оборудования;

$M = 375 \cdot 8000 \cdot 1 = 3000000$  тонн

Производственная программа характеризует объём производства продукции в конкретных условиях. Производственная программа разрабатывается на основе производственной мощности и связь между ними выражается следующей формулой:

$$N_{\text{год}} = K_{\text{м}} \cdot M \quad (8.6)$$

где:  $K_{\text{м}}$  – коэффициент мощности;

$N_{\text{год}}$  – производственная программа;

$K_{\text{м}}$  – можно рассчитать по следующей формуле:

$$K_{\text{м}} = K_{\text{экст}} \cdot K_{\text{инт}}, \quad (8.7)$$

$$\text{где: } K_{\text{экст}} = K_{\text{р}} \cdot T_{\text{эфф}} / K_{\text{уст}} \cdot T_{\text{эфф.проект}} \quad (8.8)$$

$$K_{\text{инт}} = P / P_{\text{тех}} \quad (8.9)$$

При этом:  $K_{\text{р}}$  – количество работающего оборудования;  $K_{\text{р}} = 1$ .

$K_{\text{уст}}$  - количество установленного оборудования;  $K_{\text{уст}} = 2$ .

$T_{\text{эфф.проект}}$  – максимально возможное время работы оборудования;

$T_{\text{эфф.проект}} = 8760$  час/год.

$P_{\text{тех}}$  – техническая, максимально возможная часовая производительность оборудования;  $P_{\text{тех}} = 375$  т/час.

$P$  – соответственно действительная производительность;  $P = 312.5$  т/час.

Коэффициент экстенсивного использования оборудования равен:

$$K_{\text{экст}} = 1 \cdot 8000 / 2 \cdot 8760 = 0,45$$

Коэффициент интенсивного использования оборудования равен

$$K_{\text{инт}} = 312500 / 375000 = 0,83$$

Интегральный коэффициент использования мощности:

$$K_{\text{м}} = 0,45 \cdot 0,83 = 0,375$$

Производственная программа

$$N_{\text{год1}} = 0,375 \cdot 312,5 = 117,1 \text{ т/час.}$$

$$N_{\text{год2}} = 0,375 \cdot 375 = 140,62 \text{ т/час.}$$

### 8.1.5. РАСЧЁТ ЧИСЛЕННОСТИ НЕОБХОДИМОГО ПЕРСОНАЛА ЦЕХА (ОСНОВНЫХ И ВСПОМОГАТЕЛЬНЫХ РАБОЧИХ, ИТР.)

Промышленно-производственный персонал (ППП) – включает следующие категории работников: рабочие, инженерно-технические работники, служащие, младший обслуживающий персонал, ученики, охрана. На химических предприятиях с непрерывным техническими процессами планируется явочная, штатная и списочная численность рабочих.

Явочная численность – количество рабочих, необходимое для выполнения производственной программы за сутки.

Списочная численность – число рабочих, которое необходимо для выполнения производственной программы с учётом всех планируемых потерь рабочего времени (за сутки).

Штатная численность – численность рабочих с учётом подмены на выходные дни.

Явочная численность:

$$N_{\text{яв}} = 1/N_{\text{обсл}} \cdot K \cdot S, \quad (8.10)$$

где:  $K$  – число аппаратов, которые необходимо обслужить;

$S$  – число смен в сутки при установленном режиме работы;

$N_{\text{обсл}}$  – коэффициент обслуживания основных аппаратов.

Для установки подготовки нефти:

$$N_{\text{яв1}} = 1/1 \cdot 3 \cdot 2 = 6 \text{ человека.}$$

Штатная численность:

$$N_{\text{шт}} = N_{\text{яв}} \cdot T_{\text{кал}} / T_{\text{ном}} \quad (8.12)$$

Для установки подготовки нефти:

$$N_{\text{шт1}} = 6 \cdot 365 / 274 = 8 \text{ человек.}$$

Списочная численность:

$$N_{\text{сп}} = N_{\text{шт}} \cdot T_{\text{ном}} / T_{\text{эф}} \quad (6.14)$$

$$N_{\text{сп1}} = 8 \cdot 274 / 226 = 10 \text{ человек.}$$

Сумма основных рабочих на установках – 6 человек.

Сумма вспомогательных рабочих – 19 человек.

Сумма служащих, ИТР, МОП – 5 человек.

### 8.1.6. ОРГАНИЗАЦИЯ ТРУДА

Установка деэтанализации стабилизации конденсата работает непрерывно. Основные рабочие работают в 2 смены по 12 часов. Всего на установке 4 бригады. Произведем расчет фонда эффективного рабочего времени и определим заработную плату рабочих.

Таблица 8.1.5. График сменности бригад

Смена	Время	Дни выходов														
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	8-20	а	а	а	а	а	а	а	а	а	б	б	б	б	б	б
2	20-8	б	б	б	б	б	б	б	б	б	а	а	а	а	а	а

Из графика сменности можно рассчитать величину сменооборота:

$$T_{см-о} = a \cdot b, \quad (8.17)$$

где  $T_{см-о}$  — длительность сменооборота;

$a$  — количество бригад;

$b$  — количество дней, в течение которых бригада работает одну смену.

$$T_{см-о} = 2 * 1 = 2 \text{ дня}$$

Сменооборот позволяет нам определить количество выходных дней:

$$T_{вых} = \frac{T_{кал}}{T_{см-о}} \cdot n, \quad (8.18)$$

где  $T_{вых}$  — количество выходных за год;

$T_{кал}$  — время календарное;

$n$  — количество выходных за один сменооборот.

$$T_{вых} = \frac{365}{2} = 181 \text{ день}$$

Зная количество выходных за год, можно определить эффективное время работы за год:

$$T_{эфф} = T_{кал} - T_{вых} - T_{отп} - T_{нее}, \quad (8.19)$$

где  $T_{эфф}$  — эффективное время рабочего.

$$T_{эфф} = 365 - 181 - 31 - 10 = 143 \text{ дня}$$

Рассчитаем количество эффективного времени в часах:

$$T_{эфф} = 143 \cdot 12 = 1716 \text{ часов}$$

Таблица 8.1.6. Баланс времени одного среднесписочного рабочего на год при 12 часовом рабочем дне и 4-х бригадном графике

Показатели	Дней	Часов
1. Календарный фонд рабочего времени	365	4380
2. Нерабочие дни:		
выходные	181	1092
праздничные дни	10	240
3. Номинальный фонд рабочего времени	274	3288
4. Планируемые выходные:		
отпуск	31	372
невыходы по болезни	10	120
отпуск в связи с учебой без отрыва от производства	-	-
5. Эффективный фонд рабочего времени	143	1716

Система оплаты труда основных рабочих повременно-премиальная. Годовой фонд заработной платы любой категории трудящихся можно рассчитать по формуле:

$$Z_{год} = Z_{осн} + Z_{доп}, \quad (8.20)$$

где  $Z_{осн}$  - фонд заработной платы основных рабочих, руб.,

$Z_{доп}$ , - фонд заработной платы дополнительных рабочих, руб.

Фонд основной заработной платы определяется по формуле:

$$Z_{осн} = Z_{тар} + D_{прем} + D_{нв} + D_{праз}, \quad (8.21)$$

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

$D_{прем}$  - доплата премий, руб.;

$D_{нв}$  - доплата за работу в ночное время, руб.;

$D_{праз}$  - доплата за работу в праздничные дни, руб.

Тарифный фонд заработной платы равен:

$$Z_{тар} = T_{ст} * T_{эф} * N_{сп} \quad (8.22)$$

Доплата за работу в ночное время осуществляется в размере 40% от тарифной ставки. Доплата за работу в праздничные дни - двойной тариф. Премиальные - 50% от тарифной ставки

Таблица 8.1.7. Фонд заработной платы основных рабочих

Профессия	Образ. Разряд	$T_{ст}$ руб/ч	$N_{сп}$ чел	$T_{эф}$ ч.	$Z_{тар}$ руб.	$D_{нв}$ руб	$D_{праз}$ руб	$Z_{осн}$ руб
старший оператор	Высшее	30,42	6	1716	313204,3	125281,7	62640,9	501125,9
Оператор ту	5	29,48	6	1716	303526,1	121410,4	60705,2	485641,7
Оператор печи	5	29,48	6	1716	303526,1	121410,4	60705,2	485641,7

Фонд заработной платы основных рабочих составил 1472409,3 руб. Труд инженерно-технического персонала оплачивается по месячным окладам в соответствии с принципами повременной оплаты труда.

Для работников с подобной системой оплаты труда основной фонд заработной платы рассчитывается как:

$$Z_{осн} = n_{мес} * T_{окл} * N_{сп} \quad (8.23)$$

где  $n_{мес}$  - количество месяцев;

$T_{окл}$  - месячный оклад, руб

Таблица 8.1.8. Фонд заработной платы ИТР

Должность	$T_{ст}$ ,руб/ч	$N_{сп}$ , чел	$T_{эф}$ , ч.	$Z_{осн}$ ,руб
Главный технолог Нач. установки	153,2	5	3432	2628912
Механик установки	90,78	5	3432	1557784,8
Энергетик установки	90,78	5	3432	1557784,8
Инженер КИП и АСУ	90,78	5	3432	1557784,8

Общий фонд заработной платы ИТР составил 7302266,4 руб. Вспомогательным рабочим помимо тарифа выплачивается дополнительная заработная плата из расчёта 40% от тарифа.

Таблица 8.1.9. Фонд заработной платы вспомогательных рабочих

Профессия	Образ. Разряд	$T_{ст}$ руб/ч	$N_{сп}$ чел	$T_{эф}$ ч.	$Z_{тар}$ руб.	$D_{прем}$ руб	$D_{праз}$ руб	$Z_{осн}$ руб
Слесарь-ремонтник	4	26,45	4	1716	181552,8	72621,1	36310,6	290484,5
Электрик	4	26,45	4	1716	181552,8	72621,1	36310,6	290484,5
Слесарь КИПиА	4	26,45	4	1716	181552,8	72621,1	36310,6	290484,5

Фонд заработной платы вспомогательных рабочих составил 871453,4 руб. Общий фонд заработной платы за год составил 9646129,1 руб.

### 8.1.7. РАСЧЕТ ОСНОВНЫХ ФОНДОВ

При расчете стоимости основных фондов определяются капитальные вложения, необходимые для строительства зданий и сооружений, для его оснащения производственным оборудованием, инвентарем и другими основными фондами.

Таблица 8.1.10. Расчет основных фондов

№	Наименование расходов	Стоимость колонны, тысруб	Стоимость теплообменника, тыс руб	Стоимость буферной емкости, тыс руб.	Основание
1	Прейскурантная	76000	36000	20000	Прейскурант

	стоимость				
2	Неучтенное оборудование	7600	3600	2000	10% от 1
3	Транспортно-заготовительные расходы	2500	2500	2500	
4	Монтаж	17220	8420	4900	20% от 1+2+3
5	Средства КИПиА	8610	4210	2450	10% от 1+2+3
6	Специальные работы	4305	2105	1225	5% от 1+2+3
7	Инструменты	516,6	252,6	147	3% от 4
8	Полная стоимость оборудования	116751,6	57087,6	33222	
9	Стоимость сооружений	46700,64	22835,1	13288,8	40% от 8

Общая стоимость оборудования и технических сооружений составила 289885,8 руб.

Размер амортизационных отчислений определяется по установленным для основных фондов в химической промышленности уравнениям:

$$A = C / m(6.16)$$

где  $C$  - полная стоимость, руб.;  $m$  - срок службы, лет.

Таблица 8.1.11. Расчет амортизации

Основные производственные фонды	Кол-во шт.	Срок службы, лет	Цена, т.руб.	Общая стоимость	Годовые амортизационные отчисления	Месячные амортизационные отчисления
Колонна	1	10	76000	163452,24	16345,22	1362,10
Теплообменник	1	10	36000	79922,7	7992,27	959,07
Буферная емкость	1	10	20000	46510,8	4651,08	558,13

### 8.1.8. РАСЧЕТ СЕБЕСТОИМОСТИ ПРОДУКЦИИ

Себестоимость промышленной продукции представляет собой денежное выражение затрат на производство. Она включает в себя затраты.

- сырьё и материалы;
- вспомогательные материалы;
- топливо;
- энергия;
- амортизация основных фондов;
- заработная плата;
- отчисления в госбюджет и на соцстрах;

Цеховая себестоимость:

$$C_{\text{цех}} = S + E - O + (R_1 + R + Z) / N_{\text{год}}, \quad (8.24)$$

где: S – сырьё и материалы, руб/т.

E – энергозатраты, руб/т.

O – используемые отходы, руб/т.

R<sub>1</sub> – цеховые расходы на выпуск, руб.

R – расходы на содержание и эксплуатацию оборудования на весь выпуск, руб.

Z – зарплата основная и дополнительная с отчислением на весь выпуск, руб.

N<sub>год</sub> – годовой выпуск, тыс.т./год.

Заводская себестоимость:

$$C_{\text{зав}} = C_{\text{цех}} + (R_2 + R_3) / N_{\text{год}} \quad (8.25)$$

где: R<sub>2</sub> – общезаводские расходы на весь выпуск, руб.

R<sub>3</sub> – прочие производственные расходы на весь выпуск, руб.

Полная себестоимость:

$$C_{\text{полн}} = C_{\text{зав}} + R_4 / N_{\text{год}} \quad (8.26)$$

где: R<sub>4</sub> – внепроизводственные расходы на выпуск, руб.

По данным формулам проводим расчёт себестоимости одной тонны продукции на старый и новый выпуск. Результаты помещаем в таблицу.

Таблица 8.1.12. Калькуляция себестоимости УДСК

Наименование статей расхода	Ед. изм.	Цена руб.	Расход в натуральных ед.			Годовые затраты			
			на 1 т	на N <sub>год1</sub>	на N <sub>год2</sub>	на 1 т т.руб N <sub>1</sub>	на, N <sub>год1</sub> т. руб	на 1 т т.руб N <sub>2</sub>	на N <sub>год2</sub> , т. руб
1. Сырьё и осн. материалы									
газ	т,	10	2,80	700000	8400000	0,28	700	0,28	840
1.1. Энергоресурсы									
- пар	г/к ал	173,81	0,76	190000	2280000	1,32	3302,20	1,32	3962,6
- электроэнергия	кВт	5,4	0,74	185000	2220000	0,39	999,0	0,39	1198,8
- вода обратная	т,	218,2	0,44	110000	1320000	0,96	2400,2	0,96	2880,3
ИТОГО						2,95	6502,3	2,95	7802,8

переменных издержек:									
2.ЗП производственных рабочих						0,672	1679,9	0,55	1679,9
3.Отчисления на соц. нужды						0,173	436,77	0,145	436,77
ИТОГО:						0,845	2116,69	0,695	2116,69
4, РСЭО,									
Амортизац. отчисления						0,008	20,62	0,006	20,62
- ЗП дежурным ,ремонтникам						0,59	1491,3	0,49	1491,3
- отчисления на соц. нужды						0,15	387,76	0,12	387,76
- расходы на содержание оборудования						0,17	436,16	0,14	436,16
ИТОГО:						0,92	2335,9	0,76	2335,9
5, Ремонтный фонд									
капитальный						0,08	214,16	0,07	214,16
ИТОГО:						0,08	214,16	0,07	214,16
6,Общепроизвод. расходы									
- ЗП ИТР, служащим, МОП						0,89	2234,1	0,74	2234,1
- отчисления на соц. нужды						0,23	580,86	0,19	580,86
ИТОГО:						1,12	3748,1	0,93	3748,1
Полная себестоимость						<b>4,07</b>	<b>1017500</b>	<b>3,88</b>	<b>1164000</b>
Условно-перем. издержки						<b>2,95</b>	<b>735500</b>	<b>2,95</b>	<b>885000</b>
Условно-постоянные издержки						<b>1,12</b>	<b>280000</b>	<b>0,93</b>	<b>280000</b>

### 8.1.9. РАСЧЕТ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ

1) Определение цены:

$$Ц = C \cdot (1 + 0,2) \quad (6.27)$$

где, C – себестоимость.

$$Ц = 4,07 \cdot (1 + 0,25) = 5,088 \text{ тыс. руб}$$

2) Определение выручки:

$$B = C \cdot V \quad (8.28)$$

где,  $V$  – объём производства,

$B$  – выручка,

3) Расчет прибыли:

$$П = B - Z \quad (8.29)$$

где,  $Z$  – затраты.

Затраты включают в себя: постоянные затраты, переменные затраты и амортизацию зданий и сооружений, следовательно:

4) Фондоотдача основных средств ( $\Phi_o$ ) рассчитывается по формуле:

$$\Phi_o = B / OF \quad (8.30)$$

где  $OF$  — среднегодовая стоимость основных фондов,

$B$  – выручка от реализации.

5) Расчет фондоемкости производства на месяц.

$$\Phi_e = OF / ВП = OF / C_{\text{опт.}} \cdot V \quad (6.31)$$

6) Рентабельность продаж ( $P_{\text{п}}$ ) рассчитывается по формуле:

$$P_{\text{п}} = П / B \cdot 100 \quad (6.32)$$

где  $П$  — балансовая прибыль;

$B$  – выручка от реализации.

7) Рентабельность продукции ( $P_{\text{пр}}$ ) рассчитывается по формуле

$$P_{\text{пр}} = П / C \cdot 100 \quad (6.33)$$

где  $C$  — полная себестоимость продукции.

#### **8.1.10. РАСЧЕТ ТОЧКИ БЕЗУБЫТОЧНОСТИ**

Для проведения такого анализа следует разделить затраты на постоянные и переменные.

Постоянные затраты:

- 1) Амортизация;
- 2) Ремонт;
- 3) Энергоресурсы;
- 4) ЗП ИТР, МОП, служащих;
- 5) Содержание зданий и сооружений.

Итого постоянные затраты составляют: 36505080,02 тыс. руб.

Переменные затраты:

- 1) Сырье и основные материалы;

- 2) ЗП производственных рабочих;
- 3) Отчисления на соц. нужды;
- 4) ЗП вспомогательных рабочих;
- 5) Отчисления на соц. нужды;
- 6) Налоги;
- 7) Коммерческие расходы .

Итого переменные затраты составляют: 6802696,61 (8206122,72) тыс. руб.

Точки безубыточности — минимальный объем продаж, начиная с которого предприятие не несет убытков.

$$U_{\text{пост}} = 280000 \text{ т.руб.}$$

$$U_{\text{перем.}} = 737500 \text{ т.руб. (} N_1=2500000 \text{ т/год)}$$

$$U_{\text{перем.}} = 7802,8 \text{ т.руб. (} N_2=3000000 \text{ т/год)}$$

$$U = U_{\text{пост}} + U_{\text{перем}} = 20175000 \text{ т.руб. (} N_1=2500000 \text{ т/год)} \quad (6.34)$$

$$U = U_{\text{пост}} + U_{\text{перем}} = 11640000 \text{ т.руб. (} N_2=3000000 \text{ т/год)} \quad (6.35)$$

Тогда точка безубыточности определится следующим образом:

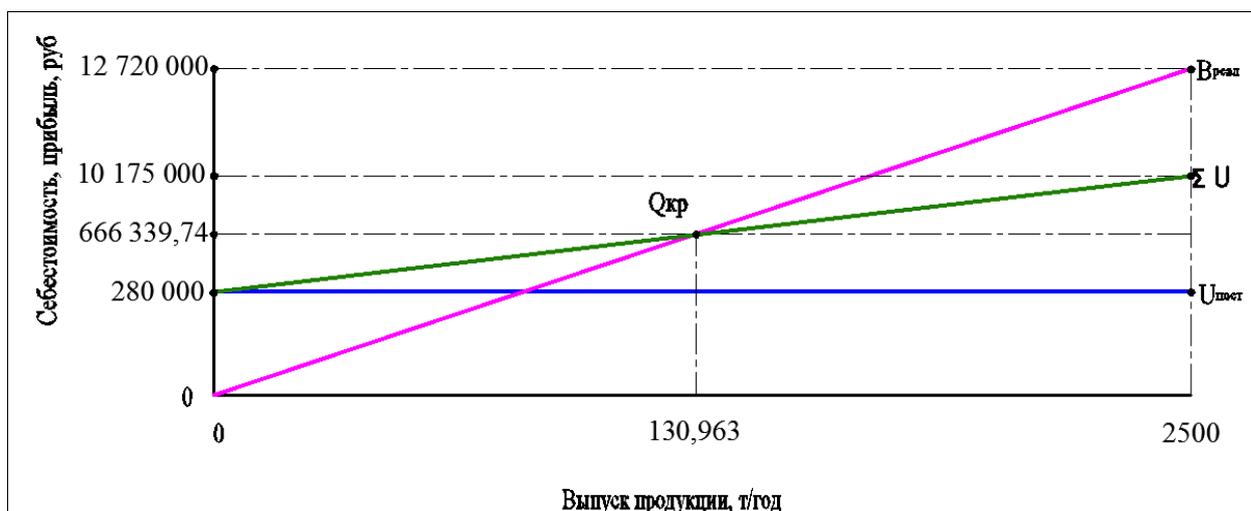
$$Q_{\text{кр}} = U_{\text{пост}} / \text{Ц}_{1\text{т}} - U_{\text{перем.1т}} \quad (6.36)$$

$$Q_{\text{кр}} = 28000 / 5,088 - 2,95 = 130,963 (N_1=2500000 \text{ т/год})$$

$$Q_{\text{кр}} = 28000 / 5,088 - 2,95 = 130,963 (N_2=3000000 \text{ т/год})$$

По результатам вычислений строим график безубыточности (рис.8.1)

1.



2.

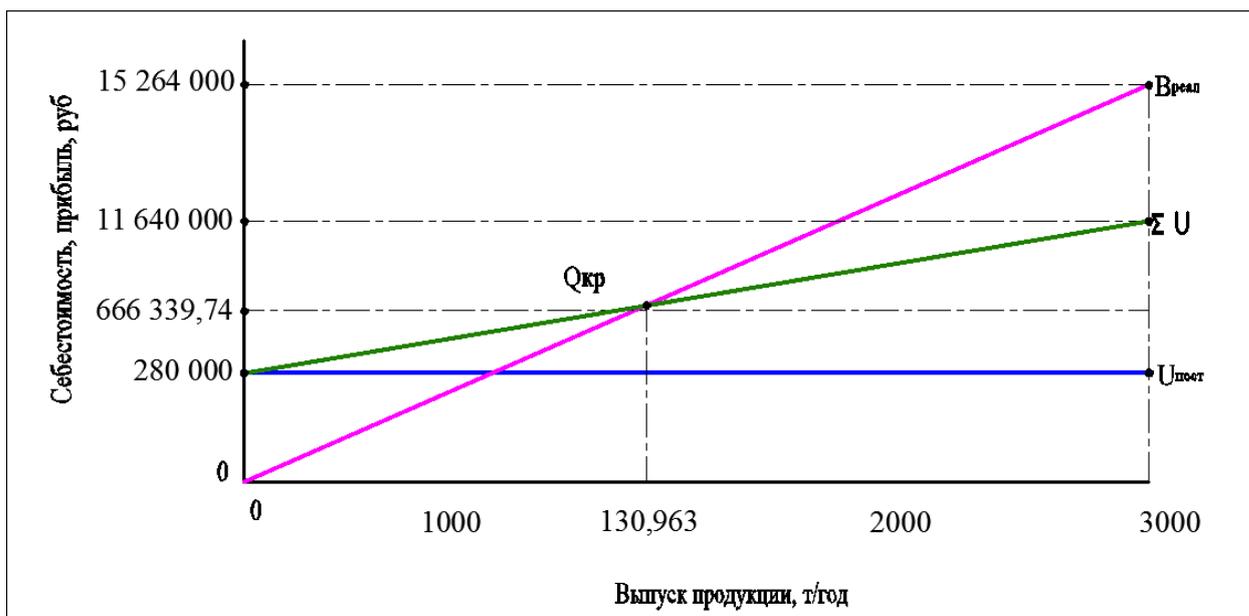


Рисунок 8.1 – График точки безубыточности.

- 1- Производительность 2500 тыс. т/год;
- 2- Производительность 3000 тыс. т/год.

По графику видно, что при заданном объеме производства 3000000 т/год проект полностью окупается, так как точка безубыточности смещается влево, что способствует уменьшению объемов затрат.

### 8.1.10. РАСЧЕТ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИНВЕСТИЦИОННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ

$i_0=174$  млн.руб

$i_0$ – разовые инвестиции, осуществляемые для модернизации оборудования.

Таблица 8.1.13 - Расчет стоимости оборудования

Наименование	Кол-во	цена за ед-цу, млн. руб.	Всего, млн.руб.
Колонна	1	76	76
Теплообменник	1	36	36
Буферная емкость	1	20	20
Итого			132

Таблица 8.1.14. - Расчет капиталовложений на модернизацию установки

№	Наименование	Стоимость, млн. руб.

1	Стоимость оборудования	132
2	Стоимость проектных изысканий научных работ	3,61
3	Стоимость нематериальных активов	3,36
4	Стоимость объектов непроизводственного назначения	4,62
5	Стоимость транспортных средств	1,68
6	Стоимость строительства	27,8
	Итого	174,0

Время окупаемости :

$$T_{\text{окуп}} = \frac{i_0}{\Delta \text{ Приб}} = \frac{174000}{863200} = 0,2 \text{ года}$$

Таблица 8.1.15. Техничко-экономические показатели

Наименование показателя	Ед. изм.	Отчетный год	Плановый год
1. Объем производства	тыс. т	2500	3000
2. Объем продаж	тыс. т	2500	3000
3. Цена 1 тонны	тыс.руб	5,088	5,088
4. Выручка от продажи (2*3)	тыс.руб	12720000	15264000
5. Суммарные издержки	тыс.руб	10175000	11640000
5.1.Издержки переменные	тыс.руб	737500	885000
5.2.Издержки постоянные	тыс.руб	280000	280000
6. Операционнаяприбыль (4–5)	тыс.руб	2545000	3624000
7. Налог на прибыль (6*20%)	тыс.руб	509000	724800
8. Чистаяприбыль (6–7)	тыс.руб	2036000	2899200
9. Себестоимость 1 тонны	тыс.руб.	4,07	3,88
10. Стоимость основних средств	тыс.руб	275324,67	275324,67
11. Численность основних рабочих	чел	38	38
12. Фондовооруженность (10/11)	тыс. руб./чел	7245,37	7245,37
13. Фондоотдача (4/10)	руб./руб.	46,2	55,5
14. Фондоёмкость (10/4)	руб./руб.	0,021	0,018
15. Производительность труда (4/11)	тыс. руб./чел.	334736,84	401684,21

16. Рентабельность производства (8*100%/5)	%	20,1	24,9
17. Рентабельность продаж (8*100%/4)	%	16	19
18. Критический объем продаж (Qкр.)	тыс. т	130,963	130,963
19. Критический объем продаж (Qкр.)	тыс. руб.	666339,744	666339,744
Срок окупаемости	годы		0,2

## 8.2. Вывод

2) Вывод: В результате модернизации оборудования был получен следующий экономический эффект:

1. Снижение себестоимости на 1 тонну с 4,07 по 3,88 (на 5%)
2. Увеличение выручки от продажи с 12720000 по 15264000 (на 17%)
3. Увеличение чистой прибыли с 2036000 по 2899200 (на 30%)
4. Увеличение выплат по налогам с 509000 по 724800 (на 30 %)
5. Увеличение показателя фондоотдачи с 46,2 по 55,5 (на 17%)
6. Увеличение производительности труда с 334736,84 по 401684,21 (на 17%)
7. Увеличение рентабельности производства с 20,1 по 24,9 (на 20%)
8. Увеличение рентабельности продаж с 16% по 19%

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

- 1 Павлов К. Ф., Романков П. Г., Носков А. А. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии. – М.: Альянс, 2007. – 576 с.
- 2) Лашинский А. А., Толчинский А. Р. Основы конструирования и расчета химической аппаратуры: Справочник. – М.: Альянс, 2008. – 752 с.
- 3) ГОСТ Р 52857.1-2007. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Общие требования – М.: Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии, 2008.
  - 4 Теплообменное оборудование для нефтегазовой промышленности.
  - 5 ГОСТ Р 52857.2-2007. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Расчет цилиндрических и конических обечаек, выпуклых и плоских днищ и крышек. – М.: Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии, 2008.
  - 6 ГОСТ Р 52857.3-2007. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Укрепление отверстий в обечайках и днищах при внутреннем и внешнем давлении. – М.: Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии, 2008.
  - 7 АТК 24.218.06-90 Штуцера для сосудов и аппаратов стальных сварных.
- РАЗРАБОТАН Акционерным обществом «Центральное конструкторское бюро нефтеаппаратуры» (АО «ЦКБН»).
- 8 Гост 28759.3-90 Фланцы сосудов и аппаратов стальные приварные встык. ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ СССР ПО УПРАВЛЕНИЮ КАЧЕСТВОМ ПРОДУКЦИИ И СТАНДАРТАМ.
- 9 М. Ф. Михалева. "Расчет и конструирование машин и аппаратов химических производств". Примеры и задачи. Ленинград: «Машиностроение», 1984. - 303 с.
- 10 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.
- 11 ГОСТ 15118-79 «Аппараты теплообменные кожухотрубчатые с неподвижными трубными решетками и кожухотрубчатые с температурным компенсатором на кожухе». - Москва 13 стр.
- 12 О.К. Семакина. МАШИНЫ И АППАРАТЫ ХИМИЧЕСКИХ, НЕФТЕПЕРЕРАБАТЫВАЮЩИХ И НЕФТЕХИМИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВ. Издательство Томского политехнического университета 2015. Машины и аппараты химических, нефтеперерабатывающих и нефтехимических производств: учебное пособие / О.К. Семакина; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2015. – 164 с.
- 13 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.
- 14 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
- 15 ОПОРЫ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ СОСУДОВ И АППАРАТОВ. Конструкция ОСТ 26-2091-93.
- 16) Примеры расчета такелажной оснастки. В. В. Матвеев, Н. Ф. Крупин