

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

Институт электронного обучения

Специальность Машины и аппараты химических производств

Кафедра Общей химии и химической технологии

ДИПЛОМНЫЙ ПРОЕКТ

Тема работы

**Разработка основного оборудования установки выделения пропан-
бутановой фракции из нефтяных газов**

УДК 665.632.05

Студент

| Группа | ФИО | Подпись | Дата |
|--------|-----------------------------|---------|------|
| 3-5001 | Родиков Александр Сергеевич | | |

Руководитель

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|-----------|--------------|------------------------|---------|------|
| Доцент | Тихонов В.В. | к.т.н., доцент | | |

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

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

По разделу «Безопасность жизни деятельности»

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|-----------|----------------|------------------------|---------|------|
| Доцент | Антоневич О.А. | доцент | | |

По разделу «Конструктивно-механический раздел»

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|-----------|-------------|------------------------|---------|------|
| Доцент | Беляев В.М. | к.т.н., доцент | | |

По разделу «Механо-технологический раздел»

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

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

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

Томск – 2016г.

РЕФЕРАТ

Дипломный проект содержит 235 стр., 26 рис., 35 табл., 36 библиографических источников.

РЕКТИФИКАЦИЯ, РЕКТИФИКАЦИОННАЯ ПРОПАН-БУТАНОВАЯ КОЛОННА, ТЕПЛООБМЕН, КОЖУХОТРУБЧАТЫЕ ТЕПЛООБМЕННИКИ.

Объектом исследования является установка фракционирования для получения товарного газа (пропана и бутана).

В данном дипломном проекте показана технико-экономическая целесообразность использования газо-компрессорной станции. Использование данного способа промышленной подготовки газа позволяет сократить затраты на импорт газа, улучшить экологию.

Цель проекта - расчет ректификационной колонны, получения товарного газа, и теплообменников исходной смеси и куба.

В процессе работы проведен расчет материального баланса, теплового баланса, технологический, гидравлический, конструктивный расчеты ректификационной колонны и двух теплообменников.

В экономической части проведен анализ снижения себестоимости, рассчитана точка безубыточности и приведен расчет технико-экономических показателей.

ESSAY

Graduation project contains 235 p., 26 fig., 35 tab., 36 bibliographic sources.

Rectification, the distillation of propane-butane COLUMN, heat, shell and tube heat exchangers.

The object of research is the installation of fractionation to produce marketable gas (propane and butane).

In this thesis project is a technical and economic feasibility of the use of gas-compressor station. Using this method of fishing gas treatment can reduce the cost of gas imports, improve the environment.

The purpose of the project - calculation of the distillation column, obtaining marketable gas, and heat exchangers of the original mixture and the cube.

In the process, carried out a mass balance calculation, the heat balance, technology, hydraulic, structural calculations of the distillation column and two heat exchangers.

In the economic part of the analysis to reduce the cost, break-even point is calculated and a calculation of technical and economic indicators.

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

Институт электронного обучения

Направление подготовки (специальность) Машины и аппараты химических производств

Кафедра общей химии и химической технологии

УТВЕРЖДАЮ:

Зав. кафедрой

_____ Тихонов В.В.
(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

| |
|------------------|
| Дипломный проект |
|------------------|

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

Студенту:

| Группа | ФИО |
|--------|-----------------------------|
| 3-5001 | Родиков Александр Сергеевич |

Тема работы:

| | |
|---|--------------------|
| Разработка основного оборудования установки выделения пропан-бутановой фракции из нефтяных газов | |
| Утверждена приказом директора (дата, номер) | 25.04.2016г 3107/с |

| | |
|--|--|
| Срок сдачи студентом выполненной работы: | |
|--|--|

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

| | |
|---|---|
| <p>Исходные данные к работе</p> <p><i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p> | <p>Материалы преддипломной практики</p> |
| <p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</p> <p><i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов.</i></p> | <p>Содержание</p> <ol style="list-style-type: none">1 Обзор литературы2 Технологическая схема производства3 Технологический расчет колонны4 Технологический расчет теплообменника исходной смеси5 Технологический расчет теплообменника куба6 Механический расчет колонны7 Механический расчет теплообменников |

| | |
|--|--|
| <i>подлежащих разработке; заключение по работе).</i> | 8 Монтаж ректификационной колонны 9 Контрольно-измерительные приборы и средства автоматизации 10 Безопасность жизни деятельности 11 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение |
| Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i> | Лист 1 Технологическая схема Лист 2-4 Общий вид и выносные элементы ректификационной колонны Лист 5-6 Общий вид кожухотрубчатого теплообменника Лист 7-8 Общий вид кожухотрубчатого теплообменника Лист 9 Монтаж ректификационной колонны Лист 10 Техничко-экономические показатели |
| Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i> | |
| Раздел | Консультант |
| Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение | к.э.н., доцент Рыжакина Т.Г. |
| Безопасность жизни деятельности | к.т.н., доцент Плахов А.М. |
| Конструктивно–механический раздел | к.т.н., доцент Беляев В.М. |
| Механо–технологический раздел | к.т.н., доцент Семакина О.К. |
| Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках: | |
| | |

| | |
|---|----------|
| Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику | 06.03.16 |
|---|----------|

Задание выдал руководитель:

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|-----------|--------------|------------------------|---------|-----------|
| Доцент | Тихонов В.В. | к.т.н., доцент | | 06.03.16. |

Задание принял к исполнению студент:

| Группа | ФИО | Подпись | Дата |
|--------|--------------|---------|----------|
| 3–5081 | Родиков А.С. | | 06.03.16 |

Содержание

| | |
|--|-----|
| 1. Технико-экономическое обоснование | 9 |
| 2. Теоретические основы ректификации | 12 |
| 2.1. Принцип ректификации | 12 |
| 2.2. Выбор типа тарелок | 15 |
| 3. Технологическая схема производства | 18 |
| 3.1. Характеристика готового продукта | 18 |
| 3.2. Описание технологической схемы производства..... | 19 |
| 4. Технологические расчеты колонны и теплообменников..... | 21 |
| 4.1. Технологический расчет колонны | 21 |
| 4.2. Тепловой расчет колонны | 39 |
| 4.3. Технологический расчет теплообменника V-645 | 44 |
| 4.4. Технологический расчет теплообменника V-646..... | 50 |
| 5. Механические расчеты колонны и теплообменников. | 56 |
| 5.1. Механический расчет колонны | 56 |
| 5.1.1. Расчетная и исполнительные толщины стенок цилиндрической обечайки:..... | 58 |
| 5.1.2. Расчетная и исполнительные толщины стенки эллиптического днища (крышки):..... | 59 |
| 5.1.3. Подбор фланцевых соединений | 61 |
| 5.1.4. Расчет и подбор штуцеров | 62 |
| 5.1.5. Расчет укреплений отверстий: согласно [6]..... | 65 |
| 5.1.6. Подбор люка-лаза: (конструктивно) согласно [7] | 79 |
| 5.1.7. Расчет тарелок | 82 |
| 5.1.8. Полная масса колонны в условиях испытаний..... | 85 |
| 5.1.9. Определение расчетных усилий для аппаратов колонного типа от ветровых нагрузок..... | 86 |
| 5.1.10. Расчет аппарата на сейсмическую нагрузку. | 94 |
| 5.2. Механический расчет теплообменника VX-645..... | 98 |
| 5.2.1. Расчетная и исполнительные толщины стенок цилиндрической обечайки расчет проводится согласно [5] | 102 |

| | |
|--|-----|
| 5.2.2. Расчетная и исполнительные толщины стенки эллиптического днища (крышки):..... | 103 |
| 5.2.3. Расчетная и исполнительные толщины стенок цилиндрической распределительной камеры проводится согласно [5] | 104 |
| 5.2.4. Выбор штуцеров и расчет их толщины | 105 |
| 5.2.5. Расчет укрепления отверстия по [6]..... | 106 |
| 5.2.6. Расчет фланцевого соединения: согласно [12] | 110 |
| 5.2.7. Расчет элементов кожухотрубного аппарата с неподвижной решеткой | 121 |
| 5.2.8. Расчёт трубы на прочность ,устойчивость и жесткость и расчет крепления труб к решетке..... | 133 |
| 5.2.9. Вес аппарата | 137 |
| 5.2.10. Выбор опор аппарата:..... | 138 |
| 5.3. Механический расчет теплообменника VX-646..... | 139 |
| 5.3.1. Расчетная и исполнительные толщины стенок цилиндрической обечайки расчет проводится согласно [5] | 143 |
| 5.3.2. Расчетная и исполнительные толщины стенки эллиптического днища (крышки):..... | 144 |
| 5.3.3. Выбор штуцеров и расчет их толщины | 145 |
| 5.3.4. Расчет укрепления отверстия по [6]..... | 146 |
| 5.3.5. Расчет фланцевого соединения: согласно [12] | 150 |
| 5.3.6. Расчет элементов кожухотрубного аппарата с неподвижной решеткой | 161 |
| 5.3.7. Расчёт трубы на прочность ,устойчивость и жесткость и расчет крепления труб к решетке..... | 173 |
| 5.3.8. Вес аппарата | 177 |
| 5.3.9. Выбор опор аппарата:..... | 178 |
| 6. Монтаж ректификационной колонны V-640 | 179 |
| 7. Средства автоматизации | 188 |
| 8. Социальная ответственность | 193 |
| 8.1. Производственная безопасность | 194 |
| 8.1.1 Анализ выявленных вредных факторов | 195 |

| | |
|---|-----|
| 8.1.1.1 Отклонение показателей микроклимата..... | 195 |
| 8.1.1.2 Повышенный уровень шума на рабочем месте | 197 |
| 8.1.1.3. Повышенный уровень вибрации | 198 |
| 8.1.1.4 Недостаточная освещенность рабочей зоны..... | 199 |
| 8.1.2 Анализ выявленных опасных факторов | 200 |
| 8.1.2.1 Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека | 200 |
| 8.1.2.2 Движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования..... | 203 |
| 8.2. Экологическая безопасность | 207 |
| 8.3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях | 209 |
| 8.3.1. Чрезвычайные ситуации. Основные причины и ликвидация последствий | 209 |
| 8.3.2. Пожары..... | 211 |
| 8.4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности | 213 |
| 9. Анализ эффективности действующего производства | 215 |
| 9.1 Расчёт производственной мощности | 215 |
| 9.2. Расчет себестоимости готовой продукции по действующему производству | 217 |
| 9.3. Организация оплаты труда | 219 |
| 9.4. Расчет затрат на производство продукции..... | 221 |
| 9.5. Расчет себестоимости..... | 223 |
| 9.6. Анализ безубыточности по действующему производству | 224 |
| 9.7. Анализ безубыточности по увеличенному объему производства | 227 |
| 9.8. Определение технико-экономических показателей | 229 |
| 9.9. Вывод | 230 |
| Заключение | 231 |
| Список использованной литературы | 233 |

1. Технико-экономическое обоснование

Сибирь была и остается главной топливно-энергетической базой России. Здесь производится 77% всех энергоресурсов страны, 27% электроэнергии, 91 % газа, 69% нефти, 61 % угля.

В настоящее время Томск, Кемерово, Новосибирск испытывают дефицит газа (С1, С2). Это вызвало ухудшение их экономического состояния. Основной причиной явилось снижение поставок попутного Тюменского нефтяного газа по магистральному газопроводу Нижневартовск - Томск - Кузбасс. По газопроводу подается 3,5 млрд. м³/ год газа, а потребность этих городов составляет 9,2 млрд. м³/ год газа. [4]

Учитывая дефицит природного газа на рынке, руководство приняло решение построить газокomppressorную станцию, целью которой осушить попутный нефтяной газ от воды и нефтяных остатков. Газ добывается на Лугинецком месторождении. Особенностью месторождения является высокое содержание газа в нефти от 300 до 400 м³ / тонну нефти.

Также учитывались экологические проблемы, возникающие из-за систематического сжигания на факелах попутного газа.

Высокие требования к качеству природного газа, надежности газоснабжения, необходимости снижения затрат на собственные нужды требуют применения мощных и сверхмощных аппаратов для подготовки газа.

Прирост объемов добычи газа в основном связан с введением в эксплуатацию газовых и газоконденсатных месторождений Крайнего Севера.

Уникальные природно-климатические условия районов Крайнего Севера и их легкая ранимость от внешнего воздействия обусловили необходимость разработки нового оборудования.

В институте катализа проводят исследования по использованию фракций С3, С4 в процессе риформинга нефтяных фракций с целью получения высокооктанового бензина.

Кроме дефицита газа, не менее остро стоит проблема обеспечения сырьем заводов России, который из-за нестабильных поставок привозного прямогонного бензина с Сургутского и Ачинского НПЗ работает не на полную мощность.

С Лугинецкой газокomppressorной станции в магистральный газопровод планируется поставка осушенного природного газа общим объемом 1 - 1,5 млрд. м³ в год. [25]

Проблема переработки углеводородного сырья в условиях жестких транспортных ограничений характерна для России и состоит в необходимости переработки в местах добычи либо плохо транспортируемых С3, С4 углеводородов, либо переработка газа в жидкие, желательны топливные углеводороды.

В течение многих лет в сырьевой базе отечественной и мировой нефтехимии важная роль принадлежит метану и этану. Именно на установке компримирования газа будут получать продукт, обеспечивающий сырьем производства пластических масс, синтетических волокон, нитрильных каучуков, хлороформа, фреона, силикона. Также направлением использования С3, С4 является их вовлечение в процесс риформинга нефтяных фракций с целью получения дополнительного количества высокооктанового бензина.

Разнообразие синтезов на основе осушенного газа С1, С2 и сжиженного газа С3, С4 является причиной быстрого увеличения объема производства этого продукта.

Отечественное крупно монтажное производство этана и метана, сложенное на территории Крайнего Севера Томской области, на месторождении Лугинецкое, отвечает высокому технико-экономическому уровню.

Учитывая дефицит попутного газа на рынке, руководство компании ОАО "ТомскНефть" приняло решение использовать попутный нефтяной газ, добываемый на Лугинецком месторождении. Особенностью месторождения

является высокое содержание газа в нефти от 300 до 400 м³ газа в 1 тонне нефти.

Для выполнения принятого решения, было запроектировано увеличение производственной мощности ЛГКС, с годовой мощностью 1,5 млрд. м³ в год.

Перспективность использования природного газа объясняется:

1. Имеющейся сырьевой базой в пределах месторождения;
2. Низкой себестоимостью.

Основным определяющим фактором при выборе сырья для производства товарного газа в том или ином районе является существующие и перспективные балансы углеводородного сырья должен проводиться на основе глубокой технико-экономической переработки с учетом и других областей применения углеводородного сырья.

К числу важнейших факторов, определяющих уровень технико-экономических показателей производства газа, относятся следующие:

- ◆ Состав и качество попутного газа;
- ◆ Мощность установки;
- ◆ Организация энергетических потоков;
- ◆ Утилизация вторичных материальных ресурсов.

2. Теоретические основы ректификации

Разделение жидких и газообразных смесей на индивидуальные компоненты имеет большое значение в химической и нефтехимической промышленности. Особенно важно выделение компонентов в чистом виде в производстве получения товарного газа с повышенными физико-химическими свойствами. Для разделения смесей на индивидуальные компоненты среди других методов широкое применение нашел метод ректификации.

Достижения в развитии термодинамики необратимых процессов дали возможность выразить и количественно оценить сложную движущую силу процесса массопередачи в условиях ректификации.

Изучение механизма массопередачи в наиболее распространенном типе ректификационных колонн - тарельчатых колоннах, привело к выявлению влияния на эффективность процесса ряда специфичных для этой конструкции факторов. Среди них унос жидкости паром на вышележащие тарелки, перемешивание жидкости вдоль пути ее движения по тарелке, степень достижения равновесия между паром и жидкостью. Конструктивные особенности колонны, влияющие на устойчивость работы аппарата и т. д. [1]

2.1. Принцип ректификации

Одним из наиболее распространенных методов разделения жидких однородных смесей, состоящих из двух или большего числа компонентов, является перегонка (дистилляция и ректификация).

В широком смысле перегонка представляет собой процесс, включающий частичное испарение разделяемой смеси и последующую конденсацию образующихся паров, осуществляемые однократно и многократно. В результате конденсации получают жидкость, состав которой отличается от состава исходной смеси. [2]

Если бы исходная смесь состояла из летучего и нелетучего компонента, то ее можно было бы разделить на компоненты путем выпаривания. Посредством же перегонки разделяют смеси, все компоненты которых

летучи, т.е. обладают определенным давлением пара. Разделение перегонкой основано на различной летучести компонентов смеси при одной и той же температуре. Поэтому при перегонке все компоненты смеси переходят в парообразное состояние в количествах, пропорционально их фугитивности.

В простейшем случае исходная смесь является бинарной, т.е. состоит из двух компонентов. Получаемый при перегонке пар относительно большее количество легколетучего (низкокипящего) компонента (НК), чем исходная смесь. Следовательно, в процессе перегонки жидкая фаза обедняется, а паровая фаза обогащается НК. Неиспарившаяся жидкость, имеет состав, более богатый высококипящим (ВК) компонентом.

Эта жидкость называется *остатком*, а жидкость, полученная в результате конденсации паров - *дистиллятом*, или *ректификатом*.

Ректификация представляет собой процесс многократного частичного испарения жидкости и конденсации паров. Процесс осуществляется путем контакта потоков пара и жидкости, имеющих различную температуру, и приводится обычно в колонных аппаратах. При каждом контакте из жидкости испаряется НК, которым обогащаются пары, а из паров конденсируются ВК, которым обогащается жидкость. Такой обмен компонентами, позволяет получить пары, представляющие собой почти чистый НК. Эти пары в отдельном аппарате дают *дистиллят (ректификат) и флегму* - жидкость, возвращаемую для орошения колонны и взаимодействия с поднимающимися парами. Пары получают путем частичного испарения снизу колонны остатка, являются почти чистыми ВК.[2]

Достаточно высокая степень разделения однородных жидких смесей на компоненты может быть достигнуто путем ректификации. Сущность процессов, из которых складывается ректификация, и получаемые при этом результаты можно проследить с помощью *t-x-y* - диаграммы.[2]

В простейшем виде процесс многократного испарения можно осуществить в многоступенчатой установке, в первой ступени которой

испаряется исходная смесь. На вторую ступень поступает на испарение жидкость, оставшаяся после отделения паров в первой ступени, в третьей ступени испаряется жидкость, поступившая из второй ступени (после отбора из последней паров) и т.д. Аналогично проходит процесс многократной конденсации, при которой на каждую следующую ступень поступают для конденсации пары, оставшиеся после отделения от них жидкости (конденсата) в предыдущей ступени.

При достаточно большом числе ступеней таким путем можно получить жидкую или паровую фазу с достаточно высокой концентрацией компонента, которым она обогащается. Однако выход этой фазы будет мал по отношению к ее количеству в исходной смеси. Кроме того, описанные установки отличаются громоздкостью и большими потерями тепла в окружающую среду.

Значительно более экономичное, полное и четкое разделение смесей на компоненты достигается в процессах ректификации, проводимых обычно в более компактных аппаратах - ректификационных колоннах.

Процесс ректификации осуществляется путем многократного контакта между неравновесными жидкой и паровой фазами, движущимися относительно друг друга.

При взаимодействии фаз между ними происходит массо- и теплообмен обусловленные стремлением системы к состоянию равновесия. В результате каждого контакта компоненты перераспределяются между фазами: пар обогащается НК, а жидкость ВК. Многократное контактирование приводит к практически полному разделению исходной смеси.[2]

Отсутствие равновесия (наличие разности температур фаз) при движении фаз с определенной относительной скоростью и многократном их контактировании являются необходимыми условиями проведения ректификации.

Процессы ректификации осуществляются периодически или непрерывно при различных давлениях: при атмосферном давлении, под

вакуумом (для разделения смесей высококипящих веществ), а также под давлением больше атмосферного (для разделения смесей, являющихся газообразными при нормальных температурах).

2.2. Выбор типа тарелок

В ректификационных и адсорбционных колоннах, применяемых в нефтеперерабатывающих и нефтехимической промышленности, используют несколько типов тарелок, область применения которых зависит от нагрузок по пару и жидкости и от их физических свойств.

Колонны, работающие под давлением, характеризуются малыми нагрузками по пару и большими нагрузками по жидкости.

Необходимость применения тарелок различных типов диктуется спецификой и особенностями работы заводов.

Типы тарелок: [5]

- Колпачковые с круглыми колпачками;
- Колпачковые с 8-образными элементами;
- Клапанные;
- Ситчатые;
- Струйные;
- Струйные с отбойниками и решетчатые провального типа.

В нашей стране наибольшее распространение получили тарелки из 8-образных элементов и клапанные тарелки; за рубежом клапанные и ситчатые.

Колпачковая тарелка состоит из основания в виде диска, перекрывающего большую часть сечения колонны. В диске имеются круглые отверстия, в которых установлены патрубки, над которыми крепятся колпачки. В нижней части колпачка имеются прорезы. Тарелка имеет переливные устройства, сливную регулируемую планку. Колпачки располагаются в вершинах равностороннего или равнобедренного треугольника, а ряды колпачков - перпендикулярно потоку жидкости.

Тарелка из 8-образных элементов. В центральной части тарелки располагаются 8-образные элементы одинакового профиля, которые будучи соединены между собой, образуют патрубки для прохода пара. С одной стороны в каждой секции имеются трапециевидные прорезы. С одной стороны тарелка заканчивается жидкостной секцией, которая крепится к сливной перегородке, причем вертикальная стенка этой секции служит одновременно сливной планкой. Высота сливной перегородки равна высоте секции. С другой стороны тарелка заканчивается паровой секцией. Тарелка имеет переливное устройство обычной конструкции.

Основным элементом клапанной тарелки являются клапаны круглой или прямоугольной формы, закрывающие отверстия в основании тарелки. Конструктивной особенностью клапана является то, что он может подниматься только на определенную высоту. Расположение клапанов круглой формы на плоскости тарелки аналогично размещению колпачков на колпачковой тарелке. Тарелка имеет переливное устройство обычной конструкции, сливную регулируемую планку и в некоторых случаях - затворную планку.

Ситчатая тарелка представляет собой плоский перфорированный лист с обычными переливными устройствами.

Струйная тарелка состоит из плоского листа, на котором в шахматном порядке сделаны прорезы в форме "языка" с отогнутой вверх вырезанной частью. Все "языки" отогнуты в одну сторону и на одинаковый угол. Тарелка имеет сливное устройство обычной конструкции, однако не имеет сливной планки на выходе жидкости, применение затворной планки в данном случае не обязательно.

Струйная тарелка с отбойниками состоит из основания и, перекрывающего все сечение колонны за исключением переливных устройств, и из наклонно расположенных отбойников. Основание и отбойники выполняются из просечно-вытяжного листа. Просечно-вытяжные листы основания тарелки уложены так, что отогнутые кромки листов

образуют с плоскостью тарелки острый угол, направленный к переливному устройству. На отбойниках отогнутые кромки просечно-вытяжных листов направлены вниз в сторону слива жидкости с тарелки и образуют с плоскостью тарелки острый угол. Тарелка не имеет сливной планки на выходе жидкости; на выходе жидкости имеется фигурная переливная планка.

Для правильного выбора типа тарелки в задании на проектирование, кроме расходных параметров и физических свойств системы, должны быть приведены следующие данные:

- Потребность в высокой производительности или эффективности тарелки;
- Пределы изменения рабочих нагрузок, определяемые по допустимым минимальным нагрузкам;
- Наличие в сырье механических примесей и возможность образования твердых отложений, забивающих тарелку;
- Возможность полимеризации или термического разложения продуктов;
- Необходимость доступа к тарелкам для чистки и ремонта;
- Ограничение на допустимое гидравлическое сопротивление тарелки;
- Агрессивность среды и материал тарелки.

3. Технологическая схема производства

3.1. Характеристика готового продукта

На компрессорную станцию поступает следующее сырье: [25]

- газ 1-й ступени сепарации нефти с ДНС-2
- газ 1-й ступени сепарации нефти с УПН
- газ 2-й ступени сепарации нефти с УПН
- газ 3-й ступени сепарации нефти с УПН Сырьевой газ:

Подача сырьевого газа в пересчете на сухой газ:

Нормальная производительность: 2.2853 млн. $\text{нм}^3/\text{сутки}$

Гарантированная производительность: 2.1425 млн. $\text{нм}^3/\text{сутки}$ с одним работающим главным компрессором

Максимальная ожидаемая подача: 4.285 млн. $\text{нм}^3/\text{сутки}$

Нормальным считается 1 кубометр газа при 0°C и 760 мм рт. ст.

Поток сырьевого газа складывается из четырех различных потоков:

| | <u>Максимальный</u> | <u>Нормальный.</u> |
|---------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| Газ ДНС-2 | 1.2855 млн. $\text{м}^3/\text{сутки}$ | 0.6856 млн. $\text{м}^3/\text{сутки}$ |
| Газ 1-й ступени УПН | 1.9495 млн. $\text{м}^3/\text{сутки}$ | 1.0397 млн. $\text{м}^3/\text{сутки}$ |
| Газ 2-й ступени УПН | 0.75 млн. $\text{м}^3/\text{сутки}$ | 0.4000 млн. $\text{м}^3/\text{сутки}$ |
| Газ 3-й ступени УПН | 0.30 млн. $\text{м}^3/\text{сутки}$ | 0.1600 млн. $\text{м}^3/\text{сутки}$ |

Сырьевой газ насыщен водой.

Характеристики сырьевого газа:

Газ 1 -й ступени УПН и ДНС – 2

Давление: 500 кПа (абс.)

Температура: 30°C макс, $+ 5^\circ\text{C}$ мин.

Газ 2-й ступени УПН

Давление: 220 кПа(абс.)

Температура: 30°C макс., $+ 5^\circ\text{C}$ мин.

Газ 3-й ступени УПН

Давление: 105кПа(абс.)

Температура: 30°C макс, + 5°C мин.

Все давления указаны на границе площадки. Исходные данные для проектирования оборудования:

Компрессорная станция спроектирована на общую производительность 4.285 млн. нм³/сут. (1 м³ определяется при 0°C и 760 мм рт. ст.).

Максимальная температура окружающей среды составляет +34°C. Максимальная ожидаемая производительность рассчитана при температуре окружающей среды +15°C. Минимальная температура окружающей среды составляет

-54°C. Указанная производительность обеспечивается при использовании двух линий компрессорных агрегатов.

Все оборудование компрессорной станции рассчитано на работу с составом газовых смесей, соответствующим нормальному молекулярному весу.

3.2. Описание технологической схемы производства

Узел фракционирования нефтяных газов.

Жидкость проходит по межтрубному пространству теплообменника НХ-646, в котором сырье колонны нагревается циркулирующим теплоносителем ректификационной колонны СГ. Подача сырья в ректификационную колонну V-640 регулируется регулятором расхода (FRC-1) с коррекцией по уровню жидкости (LIC-6353) в V-635.

Ректификационная колонна СГ представляет собой 18-тарельчатую колонну, работающую при 180°C и давлении низа 2050 кПа изб. Для подвода тепла в колонну используется ребойлер с паровым пространством (НХ-645).

Источником тепла для НХ-645 служит циркулирующий теплоноситель. Высокое давление в ректификационной колонне (РАНН-7) прекращает подачу теплоносителя в НХ-645. Низкий уровень жидкости в НХ-645 закрывает отсечной клапан ROV-6423 и прекращает отвод нижнего продукта колонны из ребойлера.

Верхний газ частично конденсируется при 50°C в конденсаторе ректификационной колонны СГ (АХ-650). Температура потока на выходе из конденсатора поддерживается регулятором с разделенным диапазоном (TRC-8), который определяет положение трехходового перепускного клапана (TV-6500) и верхних жалюзи конденсатора. С увеличением температуры перепускной клапан (TV-6500) увеличивает поток через конденсатор, а затем начинает закрывать жалюзи конденсатора.

Двухфазный поток из АХ-650 разделяется в сборнике орошения колонны СГ V-655 при давлении 2005 кПа изб. Высокая температура на выходе АХ-650 (ТАНН-6517) закрывает клапан, регулирующий подачу газа в топливную систему (FV-6551В) и клапан на линии рециркуляции, идущей к главным компрессорам (PV-6551А). Расход верхнего газа ректификационной колонны, направляемого в **систему** топливного газа, регулируется (FIC-17). Этот расход устанавливается в **результате** выбора наименьшего из двух сигналов давления - от сборника орошения (PIC-13) или от скруббера топливного газа турбины (PIC-7420А с ройкой от PY-7420С). При низкой потребности в топливе избыточный верхний газ направляется в Главные Компрессоры с управлением по давлению (PIC-614). Настройка PIC-14 устанавливается приблизительно на 50 кПа выше настройки 13, чтобы обеспечить требуемую подачу топлива до подачи газа на рециркуляцию.

Острое орошение из сборника орошения ректификационной колонны СГ (V-655) возвращается в колонну с управлением по расходу (FIC-12) при помощи насосов орошения ректификационной колонны (P-660А/В). Для этой цели используются насосы с магнитным приводом. Низкий уровень жидкости в V-655 (LALL-6550) приведет к остановке P-660А/В.

На всасывании P-660А/В имеется клапан автоматической остановки (ROV-6557), который закрывается при аварийном останове Узла фракционирования (ESD-650). При пуске насосов этот клапан должен быть открыт.

4. Технологические расчеты колонны и теплообменников

4.1. Технологический расчет колонны

Ниже приводится материальный баланс тарельчатой ректификационной колонны непрерывного действия для разделения пропан-бутановой фракции при следующих исходных данных [25]. Начальная концентрация пропана в исходном сырье 45% (масс.). Сырье подается в колонну в жидкостном состоянии. Содержание пропана в дистилляте 98% (масс.). Содержание пропана в кубовом остатке 12% (масс.). Производительность по исходной смеси составляет 13344 кг/ч.

Уравнение материального баланса для всего количества смеси [10]:

$$G_f = G_D + G_w, \quad (4.1.1)$$

где G_f - массовый или мольный расход питания, кг/ч;

G_D - массовый или мольный расход дистиллята, кг/ч;

G_w - массовый или мольный расход кубового остатка, кг/ч.

Уравнение материального баланса для низкокипящего компонента:

$$G_f * X_f = G_D * X_D + G_w * X_w, \quad (4.1.2)$$

где G_f - массовый или мольный расход питания, кг/ч;

X_f - содержание легколетучего (низкокипящего) компонента в питании,

массовые или мольные доли;

G_D - массовый или мольный расход дистиллята, кг/ч;

X_D - содержание легколетучего компонента в дистилляте, массовые или мольные доли;

G_w - массовый или мольный расход кубового остатка, кг/ч;

X_w - содержание легколетучего компонента в кубовом остатке, массовые или мольные доли.

Подставляя значения в уравнения (4.1.1) и (4.1.2), получим:

$$G_f = G_D + G_w = 13344 \text{ кг/ч},$$

Совместное решение этих двух уравнений дает:

$$G_D = 8230 \text{ кг/ч}, \quad G_w = 5114 \text{ кг/ч}.$$

Материальный баланс ректификационной колонны сведем в таблицу.

Таблица 4.1.1 - Материальный баланс ректификационной колонны

| Статьи прихода | Сумма | Статьи расхода | Сумма |
|----------------------|-------|-------------------------------|-------|
| Расход питания, кг/ч | 13344 | Расход дистиллята, кг/ч | 8230 |
| | | Расход кубового остатка, кг/ч | 5114 |
| Итого | 13344 | | 13344 |

Расчет флегмового числа и уравнений рабочих линий.

Пересчитаем составы фаз из массовых долей в мольные доли по соотношению :

$$X = \frac{X/M_{\text{БУТАНА}}}{X/M_{\text{БУТАНА}} + 1 - X/M_{\text{ПРОПАНА}}}$$

(4.1.3)

где X - концентрация бутана в мольных долях, кмоль/кмоль смеси;

X - массовая доля бутана, кг/кг смеси;

$M_{\text{БУТАНА}}$ - молекулярная масса бутана, кг/кмоль;

$M_{\text{ПРОПАНА}}$ - молекулярная масса пропана, кг/кмоль;

Молекулярные массы компонентов пропана:

$M_{\text{БУТАНА}} = 46$ кг/кмоль, $M_{\text{ПРОПАНА}} = 58$ кг/кмоль.

По формуле (4.1.3) определяем молекулярную долю пропилена в исходной смеси:

$X_f = 0,45:46 : (0,45:46 + 1 - 0,45:56) = 0,47$ кмоль/кмоль смеси;

Молекулярная доля пропилена в дистилляте:

$X_D = 0,98 : 46 : (0,98:46 + 1 - 0,98:58) = 0,97$ кмоль/кмоль смеси;

Молекулярная доля пропилена в кубовом остатке:

$X_w = 0,12:46 : (0,12:46 + 1 - 0,12:46) = 0,13$ кмоль/кмоль смеси;

Относительный мольный расход питания:

$$F = XD - X_w / (X_f - X_w),$$

(4.1.4)

где F - относительный мольный расход питания;

XD - мольная доля легколетучего компонента в дистилляте, кмоль/кмоль смеси;

X_w - мольная доля легколетучего компонента в кубовом остатке, кмоль/ кмоль смеси;

X_f - мольная доля легколетучего компонента в исходной смеси, кмоль/ кмоль смеси;

По уравнению (4.1.4) находим относительный мольный расход:

$$F = (1 - 0,13) : (0,45 - 0,13) = 1,076.$$

Для построения кривой равновесия необходимо посчитать мольные доли пропилена в жидкости и в равновесном с ней паре. Для вычисления равновесных составов фаз воспользуемся следующими уравнениями:

$$X = (P - P_{\text{ПРОПАНА}}) / (P_{\text{БУТАНА}} - P_{\text{ПРОПАНА}}),$$

(4.1.5)

где X - содержание пропилена в жидкости, мол. доли;

P - общее давление, мм.рт.ст.;

$P_{\text{ПРОПАНА}}$ - давление пропана, мм.рт.ст.;

$P_{\text{БУТАНА}}$ - давление бутана, мм.рт.ст.

$$Y^* = P_{\text{БУТАНА}} / P * X,$$

(4.1.6)

где Y^* - содержание пропилена в равновесном с ним паре, мол. доли;

$P_{\text{БУТАНА}}$ - давление бутана, мм.рт.ст.;

X - содержание бутана в жидкости, мол. доли;

P - общее давление, мм.рт.ст.

Кривая равновесия точек перегиба не имеет. Следовательно, определяем минимальное число флегмы по уравнению:

$$P_{\text{MIN}} = XD - Y^*_F/Y^*_F - X_F, \quad (4.1.7)$$

где P_{MIN} - минимальное число флегмы в ректификационной колонне;
 XD - мольная доля легколетучего компонента в дистилляте,
 кмоль/кмоль смеси;

Y^*_F - мольная доля легколетучего компонента в паре, равновесном с жидкостью питания, кмоль/кмоль смеси;

X_F - мольная доля легколетучего компонента в исходной жидкости колонны, кмоль/кмоль смеси.

$$P_{\text{MIN}} = 1 - 0,48 / 0,48 - 0,45 = 5,90.$$

Рабочее число флегмы определяем по формуле:

$$R = 1,3 P_{\text{MIN}} + 0,3, \quad (4.1.8)$$

где R - рабочее число флегмы в ректификационной колонне;

P_{MIN} - минимальное число флегмы в ректификационной колонне.

$$R = 1,3 * 5,9 + 0,3 = 7,97.$$

Рабочий линии укрепляющей и исчерпывающей частей колонны описываются следующими уравнениями:

$$y = (R / (R + 1)) * X + XD / (R + 1), \quad (4.1.9)$$

$$y = (R + F / R + 1) - (F - 1 / R + 1) * X_w \quad (4.1.10)$$

где y - переменная по высоте колонны неравновесная концентрация (мольная доля) легколетучего компонента в паре в данном сечении колонны, кмоль/кмоль смеси;

R - рабочее число флегмы в ректификационной колонне;

X - переменная по высоте колонны неравновесная концентрация (мольная доля) легколетучего компонента в жидкости в данном сечении колонны, кмоль/кмоль смеси;

XD - мольная доля легколетучего компонента в дистилляте, кмоль/кмоль смеси;

F - относительный (на 1 кмоль дистиллята) мольный расход питания;

X_W - мольная доля легколетучего компонента в кубовом остатке,
кмоль/кмоль смеси.

Уравнение рабочей линии принимает следующий вид:

- верхней части колонны:

$$Y = (7,97/7,97+1)X+1/7,97+1, Y = 0,888 X+0,1 \text{ П.}$$

- нижней части колонны:

$$Y = (7,97 + 1,076/7,97 + 1)X - (1,076 - 1 / 7,97 + 1) * 0,018,$$

$$Y = 1,008 - 0,0002.$$

Определение скорости пара и диаметра колонны.

Находим средний мольный состав жидкости в верхней и нижней частях колонны:

$$X'_{CP} = (X_D + X_F)/2, \quad (4.1.11)$$

$$X''_{CP} = (X_F + X_W)/2, \quad (4.1.12)$$

где X'_{CP} - средний мольный состав жидкости в верхней части колонны,
кмоль/кмоль смеси;

X_D - мольная доля легколетучего компонента в дистилляте,
кмоль/кмоль смеси;

X_F - мольная доля легколетучего компонента в исходной жидкости,
кмоль/кмоль смеси;

X''_{CP} - средний мольный состав жидкости в нижней части колонны,
кмоль/кмоль смеси;

X_W - мольная доля легколетучего компонента в кубовом остатке,
кмоль/кмоль смеси.

$$X'_{CP} = (1 + 0,45) : 2 = 0,48 \text{ кмоль/кмоль смеси.}$$

$$X''_{CP} = (0,45 + 0,13) : 2 = 0,29 \text{ кмоль/кмоль смеси.}$$

Средние концентрации пара находим по уравнениям рабочих линий (4.1.9) и (4.1.10), X'_{CP} и X''_{CP} берем из уравнения (4.1.11), (4.1.12):

- в верхней части колонны:

$$y'_{\text{CP}} = 0,888 * 0,48 + 0,111 = 0,461 \text{ кмоль/кмоль смеси.}$$

- в нижней части колонны:

$$y''_{\text{CP}} = 1,008 * 0,29 - 0,0002 = 0,3102 \text{ кмоль/кмоль смеси.}$$

Средние температуры пара определяем по диаграмме t-X-y.

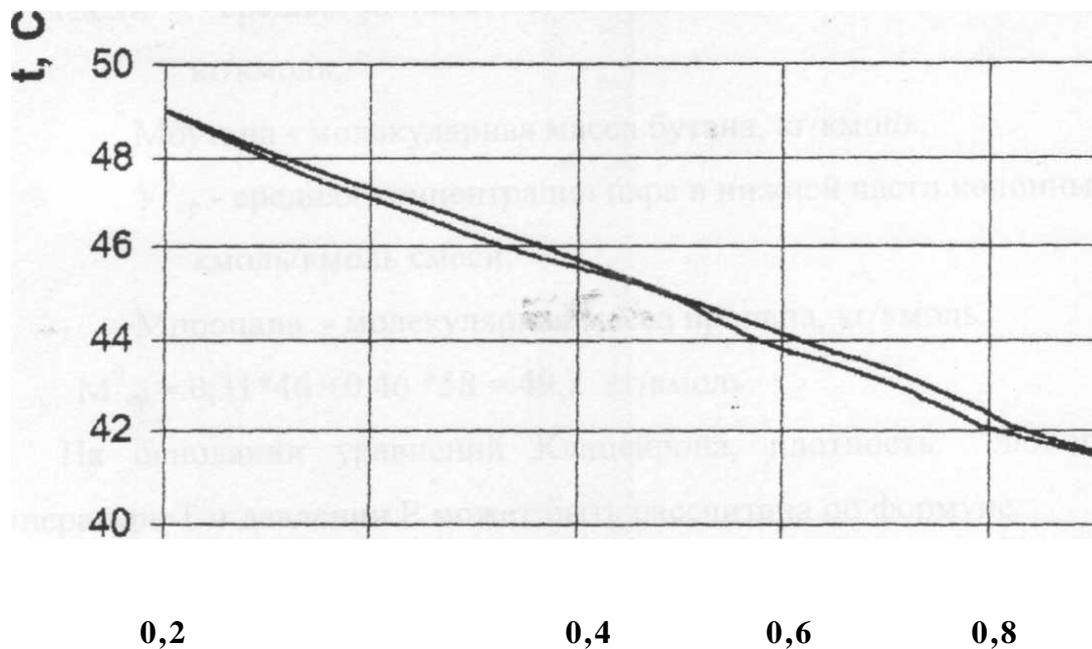


Рисунок 4.1.1 - Диаграмма t-X-y

Из рисунка (4.1.1) видно, что при $y'_{\text{CP}} = 0,461$ кмоль/кмоль смеси средняя температура пара равняется 41°C .

При $y''_{\text{CP}} = 0,3102$ кмоль/кмоль смеси средняя температура пара равняется

45°C .

Среднюю мольную массу пара в верхней части колонны находим по уравнению:

$$M'_{\text{CP}} = M_{\text{бутана}} * y'_{\text{CP}} + M_{\text{пропана}} * (1 - y'_{\text{CP}}), \quad (4.1.13)$$

где M'_{CP} - средняя мольная масса жидкости в верхней части колонны, кг/кмоль;

$M_{\text{бутана}}$ - молекулярная масса бутана, кг/кмоль;

Y'_{CP} - средняя концентрация пара в верхней части колонны, кмоль/кмоль смеси;

$M_{\text{пропана}}$ - молекулярная масса пропана, кг/кмоль.

Среднюю мольную массу пара в нижней части колонны определяем ично предыдущему уравнению:

$$M''_{CP} = M_{\text{бутана}} * Y''_{CP} + M_{\text{пропана}} * (1 - Y''_{CP}), \quad (4.1.14)$$

где M''_{CP} - средняя мольная масса жидкости в нижней части колонны, кг/кмоль;

$M_{\text{бутана}}$ - молекулярная масса бутана, кг/кмоль;

Y''_{CP} - средняя концентрация пара в нижней части колонны, кмоль/кмоль смеси;

$M_{\text{пропана}}$ - молекулярная масса пропана, кг/кмоль.

$$M''_{CP} = 0,31 * 46 + 0,46 * 58 = 49,2 \text{ кг/кмоль.}$$

На основании уравнений Клапейрона, плотность любого газа при температуре T и давлении P может быть рассчитана по формуле:

$$p = \frac{M}{22,4} * \frac{273 * P}{T * P_0}, \quad (4.1.15)$$

где p - плотность пара, кг/м³ ;

M - мольная масса пара, кг/кмоль;

P - давление насыщенного пара, мм.рт.ст.;

T - температура, К;

P_0 - давление пара при нормальных условиях, мм.рт.ст.

Тогда средние плотности пара в верхней и нижней частях колонны определяем по формуле (4.1.15):

- в верхней части колонны:

$$p'_{CP} = 49,2 * 273 * 12220 : (22,4 * 314 * 760) = 26,25 \text{ кг/м}^3;$$

- в нижней части колонны :

$$p''_{CP} = 49,02 * 273 * 12332 : (22,4 * 314 * 760) = 27,11 \text{ кг/м}^3;$$

Средняя плотность пара в колонне:

$$p_n = (p'_{\text{ср}} + p''_{\text{ср}})/2, \quad (4.1.16)$$

где p_n - средняя плотность пара в колонне, кг/м³;

$p'_{\text{ср}}$ - средняя плотность пара в верхней части колонны, кг/м³;

$p''_{\text{ср}}$ - средняя плотность пара в нижней части колонны, кг/м³.

$$p_n = (26,25 + 27,11) : 2 = 26,68 \text{ кг/м}^3;$$

Плотности жидких пропилена и пропана близки.

Температура в верху колонны при $Y_D = 0,98$ равняется 88 °С, а в кубе испарителя при $X_w = 0,138$ температура равняется 178° С.

Плотность жидкого пропилена $p_{\text{бутана}}$ при 41° С равняется 470,1 кг/м³,

а жидкого пропана $p_{\text{пропана}}$ при 180° С равняется 444,7 кг/м³.

Принимаем среднюю плотность жидкости в колонне по формуле:

$$p_{\text{ж}} = (p'_{\text{ж}} + p''_{\text{ж}})/2, \quad (4.1.17)$$

где $p_{\text{ж}}$ - средняя плотность жидкости в колонне, кг/м³;

$p'_{\text{ж}}$ - плотность жидкости в верхней части колонны, кг/м³;

$p''_{\text{ж}}$ - плотность жидкости в нижней части колонны, кг/м³.

$$p_{\text{ж}} = (470,1 + 444,7) : 2 = 457,4 \text{ кг/м}^3;$$

Определяем скорость пара в колонне по уравнению:

$$W = C * \frac{p_{\text{ж}}}{p_n}, \quad (4.1.18)$$

где W - скорость пара в колонне, м/с;

C - коэффициент, зависящий от конструкции тарелок, расстояния между тарелками, рабочего давления в колонне, нагрузки колонны по жидкости;

$p_{\text{ж}}$ - плотность жидкости, кг/ м³ ;

p_n - плотность пара, кг/ м³ .

Принимаем расстояние между тарелками 610 мм. Для клапанных тарелок коэффициент C равен 0,081.

Скорость пара по уравнению (4.1.18) равна:

$$W = 0,12 * 457,4 * 26,68 \text{ (м/с)}.$$

Объемный расход проходящего через колонну пара при средней температуре в колонне 43° С равен:

$$V = \frac{G_D * (R + 1) * 22.4 * T_{cp}}{M_D * T_0 * 3600 * P} \quad (4.1.19)$$

где V - объемный расход проходящего через колонну пара, м³/с;

G_D- количество дистиллята, кг/ч;

R - рабочее флегмовое число;

T_{cp} - средняя температура в колонне, К;

P₀ - давление пара при нормальных условиях, мм.рт.ст.;

M_D- мольная масса дистиллята, кг/кмоль;

T₀ = 273 "К:

P - давление насыщенного пара при данной температуре, мм.рт.ст.

M_D = 46 * 0,98 + 58 * 0,12 = 49 кг/кмоль.

V = 2047089*(7,97+1)*22,4*316*760(42,9*273*3600*11782) = 2,53 м/с

Определение диаметра тарельчатой ректификационной колонны
производится по уравнению []:

$$D = V/0,785 * w, \quad (4.1.20)$$

где D - диаметр колонны, м;

V - расход проходящего по колонне пара, м³/с;

w- скорость пара, отнесенная к полному поперечному сечению колонны, м/с.

$$D = 2,53 : 0,785 \Phi 0,33 = 1,8 \text{ м.}$$

Принимаем диаметр колонны 2000 мм. Тогда скорость пара в колонне из уравнения (4.1.20) будет равна:

$$w = V : 0,785 D^2 = 2,53 : 0,785 * (2)^2 = 0,32 \text{ м/с.}$$

Гидравлический расчет тарелок.

Принимаем следующие размеры клапанной тарелки: диаметр отверстий равен 40 мм, высота сливной перегородки равняется 50 мм. Свободное сечение тарелки (суммарная площадь отверстий) составляет 7,03 % от общей площади тарелки. Площадь составляет 20% от общей площади тарелки.

Рассчитываем гидравлическое сопротивление тарелки в верхней и нижней части колонны по следующему уравнению [9]:

$$\Delta P = \Delta P_{\text{сух}} + \Delta P_{\text{Б}} + \Delta P_{\text{ПЖ}}, \quad (4.1.21)$$

где ΔP - гидравлическое сопротивление тарелки, Па;

$\Delta P_{\text{сух}}$ - гидравлическое сопротивление сухой тарелки, Па;

$\Delta P_{\text{Б}}$ - сопротивление, обусловленное силами поверхностного натяжения, Па;

k - отношение плотности парожидкостного слоя к плотности жидкости, принимаем $k = 0,5$.

Высота парожидкостного слоя равняется:

$$h_{\text{ПЖ}} = h_{\text{п}} + \Delta h, \quad (4.1.22)$$

где $h_{\text{ПЖ}}$ - высота парожидкостного слоя, м;

$h_{\text{п}}$ - высота сливной перегородки, м;

Δh - высота слоя над сливной перегородкой, м. Высоту слоя над сливной перегородкой рассчитываем по формуле истечения через водослив с учетом плотности пены:

$$\Delta h = \left(\frac{V_{\text{ж}}}{1.85 \cdot \Pi \cdot k} \right)^{2/3}, \quad (4.1.23)$$

где Δh - высота слоя над сливной перегородкой, м;

$V_{\text{ж}}$ - объемный расход жидкости, м³/с;

Π - периметр сливной перегородки, м;

k - отношение плотности парожидкостного слоя к плотности жидкости, принимаем $k = 0,5$.

Объемный расход жидкости в верхней части колонны находим по следующему уравнению:

$$V_{\text{ж}} = \frac{G_D * R * M_{\text{ср}}}{M_D * \rho_{\text{ж}}}, \quad (4.1.24)$$

где $V_{\text{ж}}$ - объемный расход жидкости, м³/с;

G_D - массовый расход дистиллята, кг/ч;

R - рабочее флегмовое число;

$M_{\text{ср}}$ - средняя молярная масса жидкости, кг/кмоль;

M_D - молярная масса дистиллята, кг/кмоль;

$\rho_{\text{ж}}$ - плотность жидкости, кг/м³.

Средняя молярная масса жидкости в верхней части колонны:

$$M_{\text{ср}} = X'_{\text{ср}} * M_{\text{бутана}} + (1 - X'_{\text{ср}}) * M_{\text{пропана}}, \quad (4.1.25)$$

где $M_{\text{ср}}$ - средняя молярная масса жидкости в верхней части колонны, кг/кмоль;

$X'_{\text{ср}}$ - средняя концентрация жидкости в верхней части колонны, кмоль/кмоль смеси;

$M_{\text{бутана}}$ - молекулярная масса бутана, кг/кмоль;

$M_{\text{пропана}}$ - молекулярная масса пропана, кг/кмоль;

$M_{\text{ср}} = 42,068$ кг/кмоль.

По уравнению (4.1.24) находим объемный расход жидкости в верхней части колонны:

$$V_{\text{ж}} = 8230 * 7,97 * 42,068 : (3600 * 46 * 457,4) = 0,099 \text{ м}^3/\text{с}$$

Периметр сливной перегородки находим, решая следующую систему уравнений:

$$(P/2)^2 + (R-b)^2 = R^2, \quad (4.1.26)$$

$$0,1 * P_u * R^2 = 2/3 P_b, \quad (4.1.27)$$

где P - периметр сливной перегородки, м;

R - радиус тарелки, м;

$R = 1,6$ м;

$$Pi = 3,14;$$

$2/3 P_b$ - приближенное значение площади сегмента.

Решение системы уравнений (4.1.26) и (4.1.27) дает периметр сливной перегородки P равным 2,35 м.

По формуле находим высоту слоя над сливной перегородкой в верхней части колонны:

$$\Delta h = (0,099:(1,85*2,35*0,5))^{2/3} = 0,127\text{ м}$$

Высота парожидкостного слоя на тарелке по формуле (4.1.22) равняется:

$$h_{пж} = 0,05 + 0,127 = 0,177 \text{ (м)}.$$

Сопротивление в верхней части колонны парожидкостного слоя на тарелке находим по формуле:

$$\Delta P_{пж} = 1,3 * 0,177457,4 * 9,81 * 0,5 = 516 \text{ Па}.$$

Общее гидравлическое сопротивление тарелки в верхней части колонны по формуле (4.1.21) составляет:

$$\Delta P = 382 + 3,5 + 516 = 902 \text{ Па}.$$

По формуле находим гидравлическое сопротивление сухой тарелки в нижней части колонны:

$$\Delta P = 1,82 * (0,32:0,08)^2 * 27,1 : 2 = 395 \text{ Па}.$$

По формуле сопротивление, обусловленное силами поверхностного натяжения равняется:

$$\Delta P_b = 4 * 4,15 * 10^3 : 0,005 = 3,3 \text{ Па}.$$

Объемный расход жидкости в верхней части колонны находим по следующему уравнению:

$$V_{ж} = \left(\frac{G_D * R}{M_D} + \frac{G_F}{M_F} \right) * \frac{M_{ср}}{p_{ж}}, \quad (4.1.28)$$

где $V_{ж}$ - объемный расход жидкости, м³/ч;

G_D - массовый расход дистиллята, кг/ч;

R - рабочее флегмовое число;

M_D - мольная масса дистиллята, кг/кмоль;

G_F - массовый расход питания, кг/ч;

M_F - мольная масса питания, кг/кмоль;

$M_{\text{ср}}$ - средняя мольная масса жидкости, кг/кмоль;

$\rho_{\text{ж}}$ - плотность жидкости, кг/м³.

Мольную массу питания находим по следующей формуле:

$$M_F = X_F * M_{\text{бутана}} + (1 - X_F) * M_{\text{пропана}}, \quad (4.1.29)$$

где M_F - мольная масса питания колонны, г/кмоль; X_F - концентрация питания, мольная доля;

$M_{\text{бутана}}$ - молекулярная масса бутана, кг/кмоль; $M_{\text{пропана}}$ - молекулярная масса пропана, кг/кмоль;

$$M_F = 0,45*46+(1-0,45)*58 = 54 \text{ кг/кмоль.}$$

Средняя мольная масса жидкости в нижней части колонны находится аналогично по уравнению (4.1.29);

$$M_{\text{ср}} = 0,475*46 + (1-0,475)*58 = 56 \text{ кг/моль.}$$

По уравнению (4.1.31) объемный расход жидкости в нижней части:

$$V_{\text{ж}} = (8230:54 + 13344:56)*56:457,4 = 0,115 \text{ м}^3/\text{с}$$

Высота слоя над сливной перегородкой в нижней части колонны находится:

$$\Delta h = (0,115/(1,85*2,35*0,5))^{2/3} = 0,14 \text{ м}$$

Высота парожидкостного слоя на тарелке в нижней части колонны определяется: $h_{\text{пж}} = 0,05 + 0,14 = 0,19 \text{ м.}$

Соппротивление парожидкостного слоя на тарелке в нижней части колонны составляет:

$$\Delta P_{\text{пж}} = 1,3*0,190*0,5*457,4*9,81 = 551 \text{ Па.}$$

Общее гидравлическое сопротивление тарелки в нижней части колонны:

$$\Delta P'' = 395 + 554 + 3,3 = 952 \text{ Па.}$$

Проверим, соблюдается ли при расстоянии между тарелками равным 0,61 м необходимое для нормальной работы тарелок условие:

$$h > 1,8 * \Delta P / \rho_{ж} * g \quad (4.1.30)$$

где h - расстояние между тарелками, м, $h = 0,61$ м;

ΔP - общее гидравлическое сопротивление, Па;

$\rho_{ж}$ - плотность жидкости, кг/м³;

g - ускорение свободного падения, м/с².

Для тарелок нижней части колонны, у которых гидравлическое сопротивление больше, чем у тарелок верхней части:

$$h > 1,8 * 952: (457,9 * 9,81) = 0,382 \text{ м}$$

Следовательно, вышеуказанное условие соблюдается.

Проверим равномерность работы тарелок, т.е. рассчитаем минимальную скорость пара в отверстиях достаточную для того, чтобы клапанная тарелка работала всеми отверстиями:

$$W_{o.min} = 0,67g * \rho_{ж} * h_{пж} / \rho_{п}, \quad (4.1.31)$$

где $W_{o.min}$ - минимальная скорость пара в отверстиях, м/с;

g - ускорение свободного падения, м/с²;

$\rho_{ж}$ - плотность жидкости, кг/м³;

$h_{пж}$ - высота парожидкостного слоя на тарелке, м;

0,67- коэффициент сопротивления неорошаемых клапанных тарелок. =

1,82 для клапанных тарелок со свободным сечением 7 - 10%;

$\rho_{п}$ - плотность пара, кг/м³.

По формуле (4.1.33) минимальная скорость пара в отверстиях составляет:

$$W_{o.min} = 0,67 * 9,81 * 457,4 * 0,19: (1,82 * 27,1) = 3,97 \text{ м/с}$$

Рассчитанная скорость пара в отверстиях равняется 3,97 м/с.

Следовательно, тарелки будут работать всеми отверстиями.

Определение числа тарелок и высоты колонны.

Исходные данные:

1) Таблично заданная кривая равновесия $y = f(x)$

при $x = 0$ $y = 0$,

при $x = 1$ $y = 1$.

2) Координаты (.)А X_A, Y_A

3) Координаты (.)В - $X_B = 0, Y_B$.

4) Координаты (.)С - X_C, Y_C .

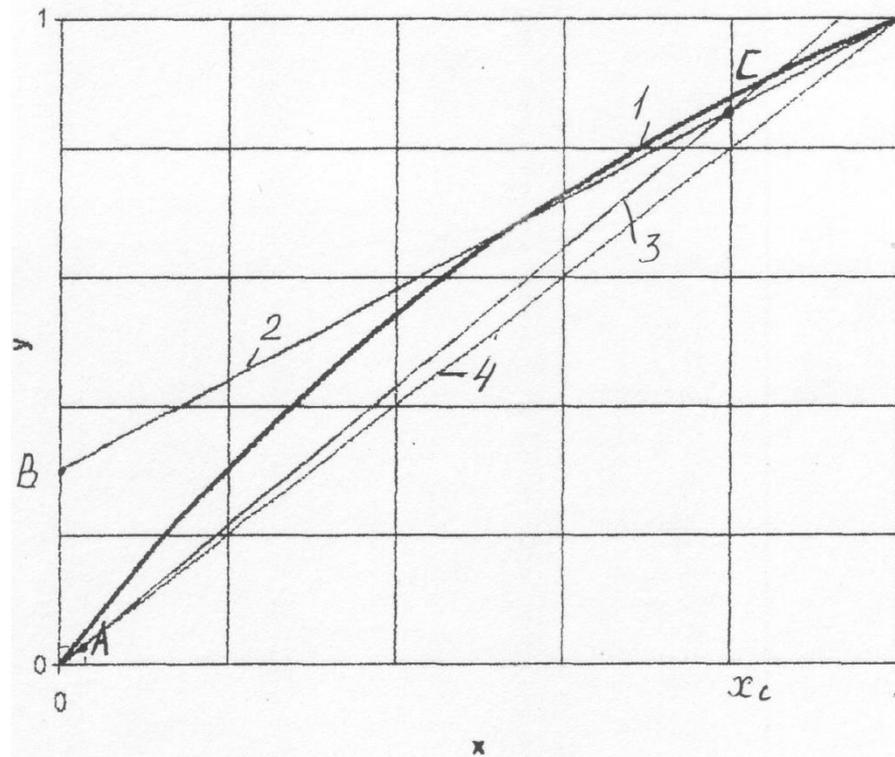


Таблица 4.1.2 – Расчет числа ступеней изменения концентрации

Порядок расчета:

1) Аппроксимация кривой равновесия номиналом 3 порядка (кривая

I):

$$Y = a_{11} * X + a_{12} X^2 + a_{13} X^3, \quad (4.1.32)$$

2) Определение коэффициентов уравнения:

Расчет коэффициентов линейного уравнения, соответствующего

прямой 2 из условия:

при $x_1 = 0$ $y_1 = y_B$,

при $x_2 = x_c$ $y_2 = y_c$.

В соответствии с этим:

$$B_2 = (y_c - y_0) / x_c \quad (4.1.33)$$

$$A_2 = y_c - B_2 * x_c = y_c - x_c * (y_c - B_2) / x_c \quad (4.1.34)$$

3) Расчет коэффициентов линейного уравнения, соответствующего прямой 3 из условия:

При $x1 = xA$ $y1 = yA$,

При $x2 = xC$ $y2 = yC$.

В соответствии с этим:

$$B_3 = (yC - yA) / (xC - xA), \quad (4.1.35)$$

$$A_3 = yC - x_c * B_3, \quad (4.1.36)$$

Прямая 2 используется для расчета числа ступеней изменения концентраций в верхней части колонны, а прямая 3 - в нижней части колонны.

4) Аппроксимация кривой равновесия в обратных координатах $x = f(y)$ номиналом 3 порядка (кривая 1 в обратных координатах):

$$X = A_{11} * y + A_{12} * y^2 + A_{13} * y^3, \quad (4.1.37)$$

5) Расчет числа ступеней изменения концентраций в верхней части колонны:

$$x_1 = x_c, \quad n = 1,$$

$$y_1 = f1(x_i),$$

$$x_2 = f2(y_i),$$

$$y_2 = f1(x_2),$$

Расчет с использованием аппроксимирующих уравнений 1 и 2 продолжается до $y_{n+1} > 1$. Общее число ступеней в верхней части колонны – П1.

б) Расчет числа ступеней изменения концентрации в нижней части колонны:

$$x_1 = x_c, \quad y_1 = y_c,$$

$$x_2 = f1(y_1),$$

$$y_2 = f_3(x_2),$$

$$x_3 = f_1(y_2),$$

Расчет с использованием аппроксимирующих уравнений продолжается до $y_{n+i} < 0$. Общее число ступеней в нижней части колонны - n_z .

7) Общее число ступеней изменения концентраций:

$$П_T = П_1 + П_2, \quad (4.1.38)$$

где $П_T$ - общее число ступеней изменения концентрации, шт;

$П_1$ - число ступеней изменения концентрации в верхней части колонны, шт;

$П_2$ - число ступеней изменения концентрации в нижней части колонны, шт.

Находим, что в верхней части колонны число ступеней изменения концентрации равно 3, в нижней части колонны 7.

Число тарелок рассчитываем по уравнению:

$$n = n_T / \eta, \quad (4.1.39)$$

где n - общее число тарелок, шт;

n_T - общее число ступеней изменения концентрации, шт;

η - средний коэффициент полезного действия, $\eta = 0,62$ [8].

Число тарелок в верхней части колонны:

$$n_v = 3:0,62 = 4$$

Число тарелок в нижней части колонны:

$$n_n = 7: 0,62 = 12$$

Общее число тарелок равно 16 шт., с запасом берем 18 шт., из них в верхней части колонны 6 шт. И в нижней части колонны 12шт.

Высота тарельчатой части колонны находится по следующему уравнению:

$$H_m = (n-1) * h, \quad (4.1.40)$$

где H_m - высота тарельчатой части колонны, м;

n - общее число тарелок, шт;

h - расстояние между тарелками, м, $h = 0,61$ [11].

$$H_T = (18 - 1) * 0,61 = 10,37 \text{ м.}$$

Общее гидравлическое сопротивление тарелок:

$$\Delta P = \Delta P' * n_m + \Delta P'' * n_n \quad (4.1.41)$$

где ΔP - общее гидравлическое сопротивление тарелок, Па;

$\Delta P'$ - общее гидравлическое сопротивление тарелки в верхней части колонны, Па;

n_m n_n - число тарелок в верхней части колонны, шт;

$\Delta P''$ - общее гидравлическое сопротивление в нижней части колонны, Па;

n_d - число тарелок в нижней части колонны, шт.

По формуле (4.1.41) находим общее гидравлическое сопротивление тарелок:

$$\Delta P = 902 * 4 + 952 * 12 = 186352 \text{ Па} = 1,86 \text{ кгс/см}^2.$$

$h_{\text{сеп}}$ — высота сепарационной части колонны, которая равна 800 мм;

$h_{\text{куб}}$ — высота кубовой части колонны, которая равна 2000 мм.

Тогда общая высота колонны равна:

$$H_{\text{общ}} = 10,37 + 0,8 + 2,0 = 13,17 \text{ м.}$$

Эта высота без учёта люков для монтажа и обслуживания тарелок.

4.2. Тепловой расчет колонны

По фазовой диаграмме находим температуру кипения исходной смеси [17]:

$$t_p = 95 \text{ }^\circ\text{C} \quad (X_p = 0,45).$$

Температура кипения дистиллята:

$$t_D = 88 \text{ }^\circ\text{C} \quad (X_D = 0,98).$$

Температура кипения остатка:

$$t_w = 178 \text{ }^\circ\text{C} \quad (X_w = 0,118).$$

Расход теплоты, отдаваемой охлаждающей воде в дефлегматоре-конденсаторе находим по уравнению:

$$QD = GD - (1 + R) * ID, \quad (4.2.1)$$

где QD - расход теплоты, отдаваемой дистиллятом охлаждающей воде в дефлегматоре-конденсаторе, Вт;

GD - количество дистиллята, кг/с;

R - флегмовое число;

ID - удельная теплота конденсации дистиллята,

Дж/кг. Удельная теплота конденсации равняется:

$$ID = XD * I_{\text{БУТАН}} + (1 - XD) * I_{\text{ПРОПАНА}}, \quad (4.2.2)$$

где ID - удельная теплота конденсации дистиллята, Дж/кг.

XD - содержание бутана в дистилляте, % масс;

$I_{\text{БУТАН}}$ - теплота парообразования бутана при 88° С, Дж/кг;

$I_{\text{ПРОПАНА}}$ - теплота парообразования пропана при 88° С, Дж/кг.

$$ID = 1,02 * 102 * 10^3 = 102 * 10^3 \text{ (Дж/кг)}.$$

Тогда по формуле (4.2.1) расход теплоты, отдаваемой охлаждающей воде в дефлегматоре-конденсаторе равен:

$$QD = 8230/3600 \Phi (1 + 7,97) * 102 * 10^3 = 520245 \text{ Вт}.$$

Расход теплоты, получаемого в кубе-испарителе от греющего пара, находим по формуле:

$$Qk = QD + GD * CD * tD + Gw * Cw * tw - GF * CF * tF + Q_{\text{ПОВ}} \quad (4.2.3)$$

где Q_k - расход теплоты, получаемой в кубе испарителя от греющего пара, Вт;

GD - количество дистиллята, кг/с;

CD - удельная теплоемкость дистиллята, Дж/кг*град;

tD - температура кипения дистиллята, °С;

Gw - количество кубового остатка, кг/с;

Cw - удельная теплоемкость кубового остатка, Дж/кг*град;

tw - температура кипения кубового остатка, С;

GF - количество исходной смеси, кг/с;

CF - удельная теплоемкость исходной смеси, Дж/кг*град;

tF - температура кипения исходной смеси, С;

$Q_{\text{пот}}$ - тепловые потери, Вт.

Тепловые потери приняты в размере 3% от полезно затрачиваемого теплоты. Тогда по уравнению (4.2.3) расход теплоты, получаемой в кубе-испарителе от греющего пара равен:

$$Q_k = 694408,18 \text{ Вт.}$$

Находим количество тепла вносимое флегмой:

$$Q_f = GD * R * CD * tD = GD * R * \left(C_{\text{БУТАНА}} \frac{XD}{100} + C_{\text{ПРОПАНА}} \frac{100-Xf}{100} \right) * tD, \quad (4.2.4)$$

где Q_f - тепло, вносимое флегмой, Вт;

GD - количество дистиллята, кг/с;

R - рабочее флегмовое число;

CD - удельная теплоемкость дистиллята, Дж/кг*град;

tD - температура кипения дистиллята, С;

$C_{\text{БУТАНА}}$ - удельная теплоемкость бутана, Дж/кг*град;

XD - содержание бутана в дистилляте, % масс;

$C_{\text{ПРОПАНА}}$ - удельная теплоемкость пропана, Дж/кг*град.

$$Q_f = 8230:3600 * 7,97 * (0,382 * 4190 * 98:100 + 0,414 * 4190 * (100-98):100) = 72535 \text{ Вт}$$

Находим количество тепла, вносимое начальной смесью:

$$Q_{H.C.} = G * R * (C_{БУТАНА} * X_f : 100 + C_{ПРОПАНА} * (100 - X_f) : 100) * t_F, \quad (4.2.5)$$

где $Q_{H.C.}$ - количество тепла, вносимое начальной смесью, Вт;

G_f - количество начальной смеси, кг/с;

$C_{БУТАНА}$ - удельная теплоемкость бутана, Дж/кг *град;

X_f - содержание бутана в начальной смеси, % масс;

$C_{ПРОПАНА}$ - удельная теплоемкость пропана, Дж/кг *град;

t_F - температура кипения исходной смеси, °С.

$$Q_{H.C.} = 13344 : 100 * 7,97 * (0,383 * 4190 * 45 : 100 + 0,415 * 4190 * (100 - 45) / 100) * 88 = 306008,15 \text{ Вт},$$

Расход теплоты, отдаваемой охлаждающей воде в водяном холодильнике дистиллята находим по формуле:

$$Q = GD * CD * (tD - t_{\text{кон}}), \quad (4.2.6)$$

где Q - расход тепла, отдаваемой охлаждающей воде в водяном холодильнике, Вт; GD - количество дистиллята, кг/с;

CD - удельная теплоемкость дистиллята, Дж/кг *град;

tD - температура кипения дистиллята, °С;

$t_{\text{кон}}$ - конечная температура, °С.

Удельная теплоемкость взята при средней температуре:

$$(88 + 79) : 2 = 83 \text{ °С}.$$

Тогда расход теплоты, отдаваемое охлаждающей воде в водяном холодильнике дистиллята равен:

$$Q = 8230 : 3600 * (0,378 * 4190 * (88 - 79)) = 144092 \text{ Вт}$$

Расход теплоты, отдаваемой охлаждающей воде в водяном холодильнике кубового остатка:

$$Q = G_d * C_w * (tD - t_{\text{кон}}), \quad (4.2.7)$$

где Q - расход теплоты, отдаваемый охлаждающей воде в водяном холодильнике кубового остатка, Вт;

G_D - количество кубового остатка, кг/с;

C_w - удельная теплоемкость кубового остатка, Дж/кг *град;

t_D - температура кипения кубового остатка, °С;

$t_{кон}$ - конечная температура, °С.

Удельная теплоемкость кубового остатка взята при средней температуре:

$$(88 + 64) : 2 = 75 \text{ °С.}$$

Тогда расход теплоты, отдаваемой охлаждающей воде в водяном холодильнике кубового остатка равен:

$$Q = 5114 : 3600 * 0,415 * 4190 * (88 - 64) = 112252 \text{ Вт}$$

Расход греющего пара в кубе испарителя находим по уравнению:

$$G_{гп} = Q_{гп} / r_{гп} \quad (4.2.8)$$

где: $G_{гп}$ - расход греющего пара, кг/с;

$Q_{гп}$ - расход теплоты, получаемой в кубе испарителя от греющего пара,

Вт;

$r_{гп}$ - удельная теплота конденсации греющего пара, Дж/кг.

Расход охлаждающей воды находится по формуле:

$$V_B = Q / [C_B * (t_{кон} - t_{нач}) * \rho_B], \quad (4.2.9)$$

где V_B - расход охлаждающей воды, М/с;

Q - расход теплоты, Вт;

C_B - удельная теплота воды, Дж/кг;

$t_{кон}$ - конечная температура воды, °С;

$t_{нач}$ - начальная температура воды, °С.

По формуле (4.2.9) находим расход охлаждающей воды в дефлегматоре:

$$V_B = 5202450 : 4190 * (40 - 25) * 1000 = 0,08 \text{ м}^3/\text{с}$$

По формуле (4.2.9) расход охлаждающей воды в водяном холодильнике дистиллята равен:

$$V_d = 144092: 4190 \cdot (35-25) \cdot 1000 = 0,003 \text{ м}^3/\text{с}$$

Расход охлаждающей воды в водяном холодильнике кубового остатка по формуле (4.2.9) равен:

$$V_x = 112252: 4190 \cdot (35-25) = 0,003 \text{ м}^3/\text{с}$$

Общий расход охлаждающей воды равен $0,086 \text{ м}^3/\text{с}$.

4.3. Технологический расчет теплообменника V-645

массовый расход бутана :

$$G := 1.45 \frac{\text{кг}}{\text{с}}$$

температура бутана на входе

$$t := 166 \text{ град}$$

температура бутана на выходе

$$t_2 := 178 \text{ град}$$

температура горячего теплоносителя на входе

$$t_3 := 266 \text{ град}$$

температура горячего теплоносителя на выходе

$$t_4 := 204 \text{ град}$$

Определение поверхности теплообмена

Межтрубное пространство:

Температура

на входе в межтрубное пространство

$$t_{1H} := 260 \text{ }^\circ\text{C}$$

на выходе из межтрубного пространства

$$t_{1K} := 204 \text{ }^\circ\text{C}$$

Средняя температура

$$t_{cp} := \frac{t_{1H} + t_{1K}}{2} = 232 \text{ }^\circ\text{C}$$

Трубное пространство

начальная температура на входе в трубное пространство

$$t_{2H} := 166 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$t_{2K} := 178 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$266 \text{ }^\circ\text{C} < \text{-----} 204 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$166 \text{ }^\circ\text{C} \text{ -----} > 178 \text{ }^\circ\text{C}$$

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

$$t_{2\text{cp}} := \frac{t_{2\text{H}} + t_{2\text{K}}}{2} = 172 \text{ град}$$

$$\Delta t_{\text{M}} := 26 \text{ град}$$

$$\Delta t_{\text{G}} := 94 \text{ град}$$

$$\Delta t_{\text{cp}} := \frac{\Delta t_{\text{G}} - \Delta t_{\text{M}}}{2.3 \cdot \log\left(\frac{\Delta t_{\text{G}}}{\Delta t_{\text{M}}}\right)} = 52.97 \text{ град}$$

$$\Delta t_{\text{cp}} := 50 \text{ град}$$

Физико-химические характеристики теплоносителей:

Характеристики термолайна-800 и бутан-пропановой смеси нам известны

Плотность :

плотность бутана

$$\rho_{1\text{H}} := 427 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

плотность горячего теплоносителя

$$\rho_2 := 673.5 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

Динамический коэффициент вязкости:

бутана

$$\mu_{1\text{H}} := 705 \cdot 10^{-6} \text{ Па} \cdot \text{с}$$

горячего теплоносителя

$$\mu_{1\text{B}} := 70 \cdot 10^{-6} \text{ Па} \cdot \text{с}$$

Коэффициент теплопроводности:

бутана

$$\lambda_{1\text{H}} := 0.036 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$$

горячего теплоносителя

$$\lambda_{2В} := 0.13 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$$

Теплоемкость:

бутана

$$c_{1Н} := 2.8 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$$

горячего теплоносителя

$$c_{2В} := 2.89 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$$

Массовый расход смеси :

$$G_1 := 9.45 \frac{\text{кг}}{\text{с}}$$

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

$$Q_H := G_1 \cdot c_{1Н} \cdot 10^3 \cdot (t_{2К} - t_{2Н}) = 3.175 \times 10^5 \text{ Вт}$$

Расход горячего теплоносителя:

$$G_2 := \frac{Q_H}{[c_{2В} \cdot 10^3 \cdot (t_{1Н} - t_{1К})]} = 1.962 \frac{\text{кг}}{\text{с}}$$

Потери:

$$Q_{П} := 0.05 \cdot Q_H = 1.588 \times 10^4 \text{ Вт}$$

Тепловая нагрузка с учетом потерь:

$$Q := Q_H + Q_{П} = 3.334 \times 10^5 \text{ Вт}$$

Отсюда объемный горячего теплоносителя :

$$V_B := \frac{Q}{c_{2В} \cdot 10^3 \cdot \rho_2 \cdot (204 - 140)} = 2.676 \times 10^{-3} \frac{\text{м}^3}{\text{с}}$$

Определим ориентировочную поверхность теплообмена:

$$K_{\min} := 10 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$$

- ориентировочное значение коэффициента
теплопередачи [с.47,табл 2.1,5]

$$K_{\max} := 60 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$$

$$F_{\max} := \frac{Q}{K_{\min} \cdot \Delta t_{\text{ср}}} = 666.792 \text{ м}^2$$

$$F_{\min} := \frac{Q}{K_{\max} \cdot \Delta t_{\text{ср}}} = 111.132 \text{ м}^2$$

Ориентировочно принимаем четырехходовый теплообменник:

$$D := 1.2 \text{ м}$$

поверхность теплообмена

$$F := 318 \text{ м}^2$$

длина труб

$$L := 4 \text{ м}$$

количество труб

$$n := 1028$$

$d := 0.021 \text{ м}$, диаметр труб с толщиной стенки 2 мм.

Скорость движения жидкости принимается из интервала 0.5-2 м/с

$$\omega := 0.5 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

Определяем критерий Рейнольдса:

$$Re := \frac{\omega \cdot 0.021 \cdot \rho_{1\text{H}}}{\mu_{1\text{H}}} = 6.36 \times 10^3$$

Следовательно, режим течения жидкости турбулентный.

$$Pr := \frac{c_{1\text{H}} \cdot 10^3 \cdot \mu_{1\text{H}}}{\lambda_{1\text{H}}} = 54.833$$

Критерий Нуссельта:

$$Nu := 0.021 \cdot Re^{0.9} \cdot Pr^{0.43} \cdot 1 = 311.239$$

Коэффициент теплоотдачи:

$$\alpha_{\text{буТ}} := \frac{Nu \cdot \lambda_{1\text{H}}}{0.021} = 533.552 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$$

Коэффициент теплоотдачи к стенке:

$$\alpha_K := 0.88 \lambda_{1H} \cdot \sqrt[3]{\frac{\rho_{1H}^2 \cdot n \cdot d}{\mu_{1H} \cdot G_1}} = 28.174$$

Определяем суммарное термическое сопротивление стальной стенки трубы и загрязнений [17, с.531]:

$$R_{\text{сум}} := \frac{1}{5800} + \frac{1}{5800} + \frac{0.002}{17.5} = 4.591 \times 10^{-4} \text{ м}^2 \cdot \frac{\text{К}}{\text{Вт}}$$

Коэффициент теплопередачи:

$$K_{\text{сум}} := \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{\text{бут}}} + \frac{1}{\alpha_K} + R} = 26.436 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \text{К}}$$

$$F_{\text{треб}} := \frac{Q}{\Delta t_{\text{ср}} \cdot K} = 252.232 \text{ м}^2$$

Запас поверхности теплообмена:

$$\Delta F := \left(F - F_{\text{треб}} \right) \cdot \frac{100}{F_{\text{треб}}} = 26.074 \%$$

Запаса поверхности теплообмена достаточно для работы теплообменника.

Конструктивный расчет теплообменника [с.23,6]

По ГОСТу 15118-79 выбираем кожухотрубчатый теплообменник с $D=1.2$ м, $l=4$ м, $F=318$ м², $n=1028$, четырехходовый.

$$D := 1.2 \text{ м}$$

$$F := 318 \text{ м}^2 \text{ поверхность теплообмена}$$

$$L := 4 \text{ м длина труб}$$

$$n := 1028 \text{ количество труб}$$

$$d := 0.02 \text{ м, диаметр труб с толщиной стенки 2 мм.}$$

Определение диаметров патрубков

Скорость движения жидкости в патрубках лежит в пределах 0.5-2 м/с, а газа- 10-30 м/с. Поскольку у нас одинаковые объемные расходы газов, то можно рассчитать и подобрать одинаковые патрубки для каждого из них:

Посчитаем диаметр патрубка для газа:

$$\omega_1 := 1\text{м/с}$$

$$D_y := \sqrt{\frac{4 \cdot G_1}{\pi \cdot \omega_1 \cdot \rho_{1H}}} = 0.168 \text{ м}$$

Подбираем стандартные штуцера согласно общим техническим требованиям АТК 24.218.06-90 и ГОСТ 12821-80.

Штуцера с приварными встык фланцами, с уплотнительной поверхностью типа выступ впадина.

Подбираем условный проход отверстия штуцера согласно

Гост 15122-79 (стр.7, табл.1)

Диаметр штуцера входа Термолайна-800:

$$D_{y1} := 200 \text{ мм}$$

Диаметр штуцера выхода Термолайна-800:

$$D_{y2} := 200 \text{ мм}$$

Диаметр штуцера входа бутана:

$$D_{y3} := 200 \text{ мм}$$

Диаметр штуцера выхода бутана:

$$D_{y4} := 200 \text{ мм}$$

4.4. Технологический расчет теплообменника V-646

массовый расход бутан-пропана

$$\underline{G} := 3.117 \frac{\text{КГ}}{\text{С}}$$

температура бутан-пропана на входе

$$t := 47 \text{ град}$$

температура бутан-пропана на выходе

$$t_2 := 85 \text{ град}$$

температура горячего теплоносителя на входе

$$t_3 := 204 \text{ град}$$

температура горячего теплоносителя на выходе

$$t_4 := 140 \text{ град}$$

Определение поверхности теплообмена

Межтрубное пространство:

Температура

$$t_{1Н} := 204 \text{ }^\circ\text{С}$$

на входе в межтрубное пространство

$$t_{1К} := 140 \text{ }^\circ\text{С}$$

на выходе из межтрубного пространства

Средняя температура

$$t_{\text{ср}} := \frac{t_{1Н} + t_{1К}}{2} = 172 \text{ }^\circ\text{С}$$

Трубное пространство

$$t_{2Н} := 47 \text{ }^\circ\text{С}$$

начальная температура на входе в трубное пространство

$$t_{2К} := 85 \text{ }^\circ\text{С}$$

$$140 \text{ }^\circ\text{С}$$

$$\leftarrow \text{-----} \quad 204 \text{ }^\circ\text{С}$$

$$47 \text{ }^\circ\text{С} \quad \text{-----} \rightarrow 85 \text{ }^\circ\text{С}$$

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

$$t_{2\text{cp}} := \frac{t_{2\text{H}} + t_{2\text{K}}}{2} = 66 \text{ град}$$

$$\Delta t_{\text{cp}} := 106 \text{ град}$$

Физико-химические характеристики теплоносителей:

Характеристики термолайна-800 и бутан-пропановой смеси нам известны

Плотность :

плотность пропан-бутановой смеси

$$\rho_{1\text{H}} := 636 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

плотность горячего теплоносителя

$$\rho_2 := 692 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

Динамический коэффициент вязкости:

пропан-бутановой смеси

$$\mu_{1\text{H}} := 245 \cdot 10^{-6} \text{ Па} \cdot \text{с}$$

горячего теплоносителя

$$\mu_{1\text{B}} := 850 \cdot 10^{-6} \text{ Па} \cdot \text{с}$$

Коэффициент теплопроводности:

пропан-бутановой смеси

$$\lambda_{1\text{H}} := 0.11 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$$

горячего теплоносителя

$$\lambda_{2\text{B}} := 0.13 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$$

Теплоемкость:

пропан-бутановой смеси

$$c_{1H} := 3.98 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}\cdot\text{К}}$$

горячего теплоносителя

$$c_{2B} := 2.81 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}\cdot\text{К}}$$

Массовый расход смеси :

$$G_1 := 5.2 \frac{\text{кг}}{\text{с}}$$

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

$$Q_H := G_1 \cdot c_{1H} \cdot 10^3 \cdot (t_{2K} - t_{2H}) = 7.864 \times 10^5 \text{ Вт}$$

Расход горячего теплоносителя:

$$G_2 := \frac{Q_H}{[c_{2B} \cdot 10^3 \cdot (t_{1H} - t_{1K})]} = 4.373 \frac{\text{кг}}{\text{с}}$$

Потери:

$$Q_{II} := 0.05 \cdot Q_H = 3.932 \times 10^4 \text{ Вт}$$

Тепловая нагрузка с учетом потерь:

$$Q := Q_H + Q_{II} = 8.258 \times 10^5 \text{ Вт}$$

Отсюда объемный расход горячего теплоносителя :

$$V_B := \frac{Q}{c_{2B} \cdot 10^3 \cdot \rho_2 \cdot (204 - 140)} = 6.635 \times 10^{-3} \frac{\text{м}^3}{\text{с}}$$

Определим ориентировочную поверхность теплообмена:

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

- ориентировочное значение коэффициента теплопередачи [с.47,табл 2.1,5]

$$K_{\max} := 340 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$$

$$F_{\max} := \frac{Q}{K_{\min} \cdot \Delta t_{cp}} = 64.919 \text{ м}^2$$

$$F_{\min} := \frac{Q}{K_{\max} \cdot \Delta t_{\text{ср}}} = 22.913 \text{ м}^2$$

Ориентировочно принимаем одноходовый теплообменник:

$$D := 0.6 \text{ м}$$

$$F := 40 \text{ м}^2 \text{ поверхность теплообмена}$$

$$L := 2 \text{ м, длина труб}$$

$$n := 261 \text{ количество труб}$$

$$d := 0.025 \text{ м, диаметр труб с толщиной стенки 2 мм.}$$

Скорость движения жидкости принимается из интервала 0.5-2 м/с

$$\omega := 0.5 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

Определяем критерий Рейнольдса:

$$Re := \frac{\omega \cdot 0.021 \cdot \rho_{1H}}{\mu_{1H}} = 2.726 \times 10^4$$

Следовательно, режим течения жидкости турбулентный.

$$Pr := \frac{c_{1H} \cdot 10^3 \cdot \mu_{1H}}{\lambda_{1H}} = 8.865$$

Критерий Нуссельта:

$$Nu := 0.021 \cdot Re^{0.9} \cdot Pr^{0.43} \cdot 1 = 526.798$$

Коэффициент теплоотдачи:

$$\alpha_{\text{буг}} := \frac{Nu \cdot \lambda_{1H}}{0.021} = 2.759 \times 10^3 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$$

Коэффициент теплоотдачи к стенке:

$$\alpha_K := 2.08 \cdot \lambda_{1H} \cdot \sqrt[3]{\frac{\rho_{1H}^2 \cdot n \cdot d}{\mu_{1H} \cdot G_1}} = 291.674$$

Определяем суммарное термическое сопротивление стальной стенки трубы и загрязнений [романков, с.531]:

$$R := \frac{1}{5800} + \frac{1}{5800} + \frac{0.002}{17.5} = 4.591 \times 10^{-4} \text{ м}^2 \cdot \frac{\text{К}}{\text{Вт}}$$

Коэффициент теплопередачи:

$$K := \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{\text{бут}}} + \frac{1}{\alpha_{\text{к}}} + R} = 235.294 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2\text{К}}$$

$$F_{\text{треб}} := \frac{Q}{\Delta t_{\text{ср}} \cdot K} = 33.109 \text{ м}^2$$

Запас поверхности теплообмена:

$$\Delta F := \left(F - F_{\text{треб}} \right) \cdot \frac{100}{F_{\text{треб}}} = 20.814 \%$$

Запаса поверхности теплообмена достаточно для работы теплообменника.

Конструктивный расчет теплообменника [с.23,6]

По ГОСТу 15118-79 выбираем кожухотрубчатый теплообменник с $D=0.6$ м, $l=2$ м, $F=40$ м², $n=261$, одноходовый.

$$F := 40 \text{ м}^2$$

$$D_{\text{вн}} := 0.6 \text{ м}$$

$$n := 261$$

$$H := 2 \text{ м, без учета крышек.}$$

Определение диаметров патрубков

Скорость движения жидкости в патрубках лежит в пределах 0.5-2 м/с, а газа- 10-30 м/с. Поскольку у нас у нас одинаковые объемные расходы газов, то можно рассчитать и подобрать одинаковые патрубки для каждого из них:

Посчитаем диаметр патрубка для газа:

$$\omega_1 := 0.5 \text{ м}^3/\text{с}$$

$$D_y := \sqrt{\frac{4 \cdot G_1}{\pi \cdot \omega_1 \cdot \rho_{1\text{н}}}} = 0.144 \text{ м}$$

Подбираем стандартные штуцера согласно общим техническим требованиям АТК 24.218.06-90 и ГОСТ 12821-80.

Штуцера с приварными встык фланцами, с уплотнительной поверхностью типа выступ впадина.

Подбираем условный проход отверстия штуцера согласно **Гост 15122-79 (стр.7, табл.1)**

Диаметр штуцера входа Термолайна-800:

$$D_{y1} := 200 \text{ мм}$$

Диаметр штуцера выхода Термолайна-800:

$$D_{y2} := 200 \text{ мм}$$

Диаметр штуцера входа пропан-бутановой смеси:

$$D_{y3} := 200 \text{ мм}$$

Диаметр штуцера выхода пропан-бутановой смеси:

$$D_{y4} := 200 \text{ мм}$$

5. Механические расчеты колонны и теплообменников.

5.1. Механический расчет колонны

Исходные данные:

Тип колонны - тарельчатая

Тип тарелки - клапанная

Внутренний диаметр колонны:

$$D := 200 \text{ мм}$$

Высота колонны с учетом люков для монтажа и обслуживания тарелок:

$$H := 1374 \text{ мм}$$

Расчетное время эксплуатации колонны:

$$t_{\text{лет}} := 15 \text{ лет}$$

Расчетная температура:

$$t_p := 178 \text{ }^\circ\text{C}$$

рабочее давление в колонне:

$$P_p := 2.6 \cdot 10^6 \text{ Па}$$

Материал для аппарата: **сталь 12МХ** - Сталь жаропрочная низколегированная, Сталь перлитного класса. Рекомендуемая температура применения до 510 °С ; Температура интенсивного окалинообразования 570 °С ; срок работы - более 10000 ч.

коэффициент прочности сварных швов (сварят на заводе производителе):

$$\phi := 1$$

скорость коррозии материала от действия заданной среды:

$$P_{\text{кор}} := 0.1 \frac{\text{мм}}{\text{год}}$$

Прибавки к расчетным толщинам:

Прибавка для компенсации коррозии и эрозии:

$$c_1 := P_{\text{кор}} \cdot t_{\text{лет}} = 1.5 \text{ мм}$$

Прибавка для компенсации минусового допуска;

$$c_2 := 0 \text{ мм}$$

Технологическая прибавка;

$$c_3 := 0 \text{ мм}$$

Прибавки к расчетным толщинам элементов:

$$c := c_1 + c_2 + c_3 = 1.5 \text{ мм}$$

Допускаемое напряжение материала (Сталь 12МХ): [1] при температуре 20С:

$$\sigma_{Д20} := 147 \cdot 10^6 \text{ Па}$$

Допускаемое напряжение в рабочем состоянии :

(Так как изготовлен. из листового проката)

Допускаемое напряжение для материала при $t=178$ градусов:

$$t_{\text{таб}} := \begin{pmatrix} 150 \\ 200 \end{pmatrix} \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\sigma_{\text{таб}} := \begin{pmatrix} 146 \cdot 10^6 \\ 145 \cdot 10^6 \end{pmatrix} \text{ Па}$$

$$\eta := 1$$

$$\sigma_{\text{д}} := \text{Floor}(\text{interp}(t_{\text{таб}}, \sigma_{\text{таб}}, t_p), 0.5) = 1.454 \times 10^8 \text{ Па}$$

$$\sigma_{\text{ид}} := \frac{\sigma_{\text{д}}}{1.1} = 1.322 \times 10^8 \text{ Па}$$

Ускорение свободного падения, м/с^2

$$g := 9.8 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$$\rho_{\text{воды}} := 1000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

Плотность воды, кг/м^3

Высота аппарата:

$$H := 13.74 \text{ м}$$

Расчетное давление в аппарате: расчет проводим согласно [2]

$$P_{\text{рас}} := P_p + g \cdot H \cdot \rho_{\text{воды}} = 2.735 \times 10^6 \text{ Па}$$

Давление возникающее при гидроиспытаниях в кожухе в межтрубном пространстве:

$$P_{\text{и}} := 1.25 \cdot P_{\text{рас}} \cdot \frac{\sigma_{\text{Д20}}}{\sigma_{\text{д}}} = 3.455 \times 10^6 \text{ Па}$$

Условное давления в кожухе в межтрубном пространстве (Для расчета штуцеров, фланцевых соединений):

$$P_{\text{усл}} := P_{\text{рас}} \cdot \frac{\sigma_{\text{Д20}}}{\sigma_{\text{д}}} = 2.764 \times 10^6 \text{ Па}$$

$$H := 1374 \text{ мм}$$

5.1.1. Расчетная и исполнительные толщины стенок цилиндрической обечайки:

расчет проводится согласно [3]

Расчетная толщина обечайки: при рабочих условиях.

$$s_{p11} := \frac{P_{\text{рас}} \cdot D}{2 \cdot \phi \cdot \sigma_{\text{д}} - P_{\text{рас}}} = 18.981 \text{ мм}$$

Расчетная толщина обечайки: при условиях гидроиспытания.

$$s_{p12} := \frac{P_{\text{и}} \cdot D}{2 \cdot \phi \cdot \sigma_{\text{иД}} - P_{\text{и}}} = 26.477 \text{ мм}$$

Расчетная толщина обечайки: (выбираем максимальную расчетную толщину стенки обечайки)

$$s_{p1} := \max(s_{p11}, s_{p12}) = 26.477 \text{ мм}$$

Исполнительная толщина стенки цилиндрической обечайки:

$$s_{и1} := s_{p1} + c = 27.977 \text{ мм}$$

Принимаем толщину обечайки:

$$s_1 := 28 \text{ мм}$$

Проверка условий применимости формул:

$$\text{Проверка}_1 := \begin{cases} \text{"Условия применения формул выполняются"} & \text{if } \frac{s_1 - c}{D} \leq 0.1 \\ \text{"Условия применения формул НЕ выполняются"} & \text{if } \frac{s_1 - c}{D} > 0.1 \end{cases}$$

Проверка₁ = "Условия применения формул выполняются"

Допускаемое внутреннее избыточное давление для оболочки рассчитывается по формуле:

$$P_{д1} := \frac{2 \cdot \sigma_{д} \cdot \phi \cdot (s_1 - c)}{D + (s_1 - c)} = 3.804 \times 10^6 \text{ Па}$$

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

$$\text{Проверка}_2 := \begin{cases} \text{"Условие прочности выполняется"} & \text{if } P_{д1} \geq P_p \\ \text{"Условие прочности НЕ выполняется"} & \text{if } P_{д1} < P_p \end{cases}$$

Проверка₂ = "Условие прочности выполняется"

5.1.2. Расчетная и исполнительные толщины стенки эллиптического днища (крышки):

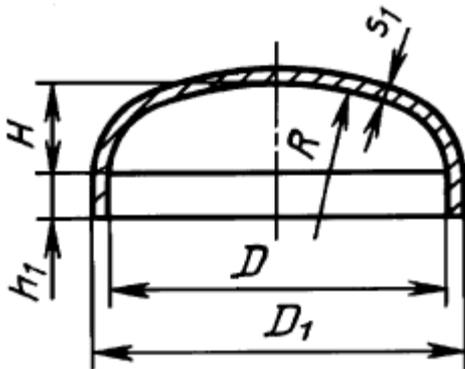


Рис. 5.1.2 Расчетная схема эллиптического днища.

Высоту днища подбираем согласно [4, стр. 440, табл. 16.1]:

$$h_{д} := 500 \text{ мм}$$

$$D_{д} := D = 2 \times 10^3 \text{ мм}$$

Радиус кривизны в вершине днища и крышки:

$$R_1 := \frac{D_d^2}{4 \cdot h_d} = 2 \times 10^3 \text{ мм}$$

Расчет толщины стенки днища под действием внутреннего избыточного давления:

$$s_{p2} := \max \left(\left(\frac{P_{рас} \cdot R_1}{2 \cdot \phi \cdot \sigma_d - 0.5 \cdot P_{рас}} \right), \left(\frac{P_{и} \cdot R_1}{2 \cdot \phi \cdot \sigma_{иД} - 0.5 \cdot P_{и}} \right) \right) = 26.303 \text{ мм}$$

Исполнительная толщина стеки оболочки:

$$s_{и2} := s_{p2} + c = 27.803 \text{ мм}$$

Принимаем исполнительную толщину днища и крышки:

$$s_2 := 28 \text{ мм}$$

Проверка условий применимости формул:

$$\text{Проверка}_3 := \begin{cases} \text{"Условия применения формул выполняются"} & \text{if } \begin{cases} 0.002 \leq \frac{s_2 - c}{D_d} \leq 0.1 \\ 0.2 \leq \frac{h_d}{D_d} \leq 0.5 \end{cases} \\ \text{"Условия применения формул НЕ выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{Проверка}_3 = \text{"Условия применения формул выполняются"}$$

Допускаемое внутреннее избыточное давление для оболочки рассчитывается по формуле:

$$P_{д2} := \frac{2 \cdot \sigma_d \cdot \phi \cdot (s_2 - c)}{R_1 + (s_2 - c)} = 3.804 \times 10^6 \text{ Па}$$

Проверка условия прочности стенок, эллиптического днища:

$$\text{Проверка}_4 := \begin{cases} \text{"Условие прочности выполняется"} & \text{if } P_{д2} > P_p \\ \text{"Условие прочности НЕ выполняется"} & \text{if } P_{д2} < P_p \end{cases}$$

$$\text{Проверка}_4 = \text{"Условие прочности выполняется"}$$

5.1.3. Подбор фланцевых соединений

Фланец приварной встык с конической втулкой, тип уплотнительной поверхности выступ-впадина. Подбираем фланец согласно [4]

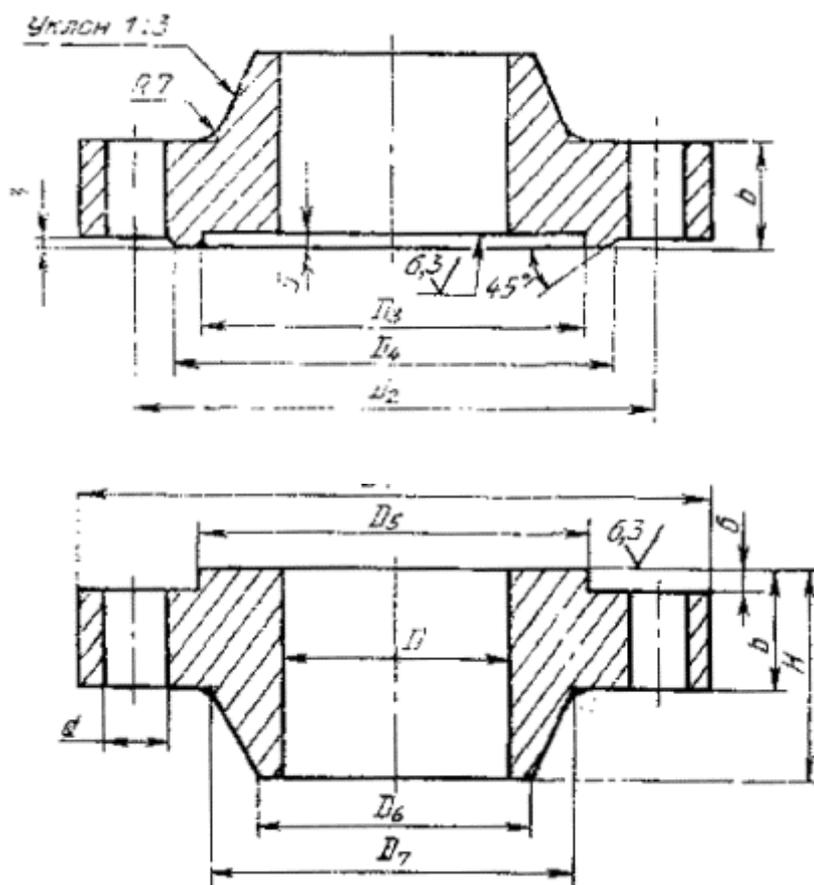


Рис. 5.1.3 Фланец с конической втулкой приваренный встык, с уплотнительной поверхностью типа выступ впадина

Таблица 5.1 Основные размеры и характеристики фланца

| Внутренний диаметр аппарата D | D_1 | D_2 | D_3 | D_4 | D_5 | D_6 | D_7 | b | H | d | Болты, шпильки | | Давление условное, МПа |
|---------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----|-----|-----|----------------|------------|------------------------|
| | | | | | | | | | | | диаметр | количество | |
| 2000 | 2235 | 2175 | 2116 | 2130 | 2113 | 2044 | 2104 | 105 | 195 | 33 | M30 | 80 | 4 |

5.1.4. Расчет и подбор штуцеров

Расчет патрубков:

Массовый расход:

Массовый расход исходной смеси:

$$G_F := 3.7067 \frac{\text{кг}}{\text{с}}$$

Массовый расход пара идущего в дефлегматор:

$$G_d := 3.7067 \frac{\text{кг}}{\text{с}}$$

Массовый расход флегмы:

$$G_{\text{fleg}} := 18.2202 \frac{\text{кг}}{\text{с}}$$

Массовый расход кубового остатка:

$$G_w := 21.9265 \frac{\text{кг}}{\text{с}}$$

Массовый расход пара из кипятильника:

$$G_{\text{II}} := 20.5065 \frac{\text{кг}}{\text{с}}$$

Плотность веществ:

$$\rho_f := 457.4 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

$$\rho_d := 26.25 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

$$\rho_w := 444.7 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

$$\rho_{\text{fleg}} := 470.1 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

$$\rho_{\text{II}} := 26.25 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

Объемный расход:

$$V_f := \frac{G_f}{\rho_f} = 8.104 \times 10^{-3} \frac{\text{м}^3}{\text{с}}$$

Объемный расход дистиллята

$$V_d := \frac{G_d}{\rho_d} = 0.141 \frac{\text{м}^3}{\text{с}}$$

Объемный расход кубовой жидкости

$$V_w := \frac{G_w}{\rho_w} = 0.049 \frac{\text{м}^3}{\text{с}}$$

Объемный расход флегмы

$$V_{\text{fleg}} := \frac{G_{\text{fleg}}}{\rho_{\text{fleg}}} = 0.039 \frac{\text{м}^3}{\text{с}}$$

Объемный расход греющего пара

$$V_{\text{II}} := \frac{G_{\text{II}}}{\rho_{\text{II}}} = 0.781 \frac{\text{м}^3}{\text{с}}$$

Зададимся ориентировочной скоростью движения сред в патрубках:

$$\omega_f := 0.114 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$$\omega_d := 4.914 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$$\omega_w := 0.31 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$$\omega_{\text{fleg}} := 0.403 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$$\omega_{\text{II}} := 8.123 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

Расчетные диаметры штуцеров:

$$d_{\text{rF}} := \sqrt{4 \cdot \frac{V_f}{\omega_f \cdot \pi}} = 0.301 \text{ м}$$

$$d_{\text{rD}} := \sqrt{4 \cdot \frac{V_d}{\omega_d \cdot \pi}} = 0.191 \text{ м}$$

$$d_{rW} := \sqrt{4 \cdot \frac{V_w}{\omega_w \cdot \pi}} = 0.45 \text{ м}$$

$$d_{rFleg} := \sqrt{4 \cdot \frac{V_{fleg}}{\omega_{fleg} \cdot \pi}} = 0.35 \text{ м}$$

$$d_{rII} := \sqrt{4 \cdot \frac{V_{fleg}}{\omega_{II} \cdot \pi}} = 0.078 \text{ м}$$

Подбираем штуцера: согласно [5]

Таблица 5.2 стандартных штуцеров

| Наименование | D _y мм | D мм | D ₁ мм | D ₄ мм | D ₆ мм | b мм | n ед. | d мм | L мм | H мм | d _H мм | S мм | P _y , МПа |
|---------------------|----------------------|---------|----------------------|----------------------|----------------------|---------|----------|---------|---------|---------|----------------------|---------|-------------------------|
| Вход исходной смеси | 300 | 510 | 450 | 363 | 364 | 42 | 16 | 33 | 150 | 267 | 325 | 10 | 4 |
| Выход дистиллята | 400 | 655 | 585 | 473 | 474 | 54 | 16 | 39 | 180 | 320 | 426 | 12 | 4 |
| Вход флегмы | 350 | 570 | 510 | 421 | 422 | 48 | 16 | 33 | 150 | 271 | 377 | 12 | 4 |
| Вход греющ. агента | 350 | 570 | 510 | 421 | 422 | 48 | 16 | 33 | 150 | 271 | 377 | 12 | 4 |
| Выход куб. остатка | 400 | 655 | 585 | 473 | 474 | 54 | 16 | 39 | 180 | 320 | 426 | 12 | 4 |

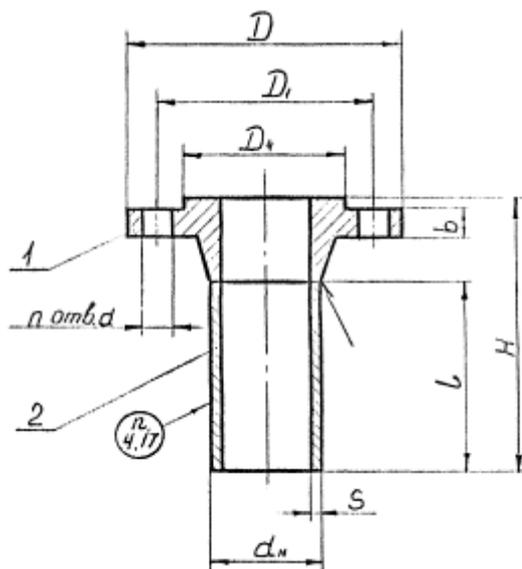


Рис. 5.1.4 Штуцер с соединительным выступом на условное давление 4 МПа.

Расчет укрепления отверстия по ГОСТ Р 52857.3-2007

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

$$d_{01} := 2 \cdot \left(\frac{s_1 - c}{s_{p1}} - 0.8 \right) \cdot \sqrt{D \cdot (s_1 - c)} = 92.49 \text{ мм}$$

$$d_{02} := 2 \cdot \left(\frac{s_2 - c}{s_{p2}} - 0.8 \right) \cdot \sqrt{D_d \cdot (s_2 - c)} = 95.54 \text{ мм}$$

Внутренний диаметр отверстий штуцеров:

$$d_{в1} := 300 \text{ мм, для исходной смеси}$$

$$d_{в2} := 400 \text{ мм, выход дистиллята}$$

$$d_{в3} := 350 \text{ мм, вход флегмы}$$

$$d_{в4} := 350 \text{ мм, вход пара}$$

$$d_{в5} := 400 \text{ мм, выход кубового остатка}$$

$$\text{Пров}_{шт} := \begin{cases} \text{"необходимо укрепления отверстия"} & \text{if } \begin{cases} d_{01} < d_{в1} \\ d_{02} < d_{в2} \\ d_{01} < d_{в3} \\ d_{01} < d_{в4} \\ d_{02} < d_{в5} \end{cases} \\ \text{"укрепления отверстия не требуется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{Пров}_{шт} = \text{"необходимо укрепления отверстия"}$$

5.1.5. Расчет укреплений отверстий: согласно [6]

$$s := 28 \text{ мм, толщина стенки}$$

$$c := 1 \text{ мм, прибавка}$$

Расчет укрепления отверстия штуцера для исходной смеси

Штуцера и кольца жесткости изготовлены из стали 12МХ

Допускаемое напряжения для материала патрубка при наихудших условиях: (гидроиспытания)

$$\sigma_{Д1} := \sigma_{Д20}$$

Допускаемое напряжения для материала кольца жесткости при наихудших условиях: (гидроиспытания)

$$\sigma_{Д2} := \sigma_{Д20}$$

Толщина стенки штуцера:

$$s_{ш1} := 10 \text{ мм}$$

Длина внутренней части штуцера:

$$l_3 := 30 \text{ мм}$$

Отношения допускаемых напряжений:

-для внешней части штуцера:

$$\chi_1 := \min\left(1, \frac{\sigma_{Д1}}{\sigma_{Д20}}\right) = 1$$

для накладного кольца:

$$\chi_2 := \min\left(1, \frac{\sigma_{Д2}}{\sigma_{Д20}}\right) = 1$$

для внутренней части штуцера:

$$\chi_3 := \min\left(1, \frac{\sigma_{Д1}}{\sigma_{Д20}}\right) = 1$$

Условный расчетный диаметр отверстия:

$$d_{y1} := d_{в1} + 2 \cdot s_1 \cdot (1 - \chi_1) = 300 \text{ мм}$$

Расчетный диаметр отверстия (ось штуцера совпадает с нормалью к поверхности в центре отверстия):

$$d_{p1} := d_{y1} + 2 \cdot c = 303 \text{ мм}$$

Длина штуцера:

$$l_1 := 150 \text{ мм}$$

Расчетная длина внешней части патрубка:

$$l_{1p} := \min \left[l_1, 1.25 \sqrt{(d_{B1} + 2 \cdot c) \cdot (s_{ш1} - c)} \right] = 63.437 \text{ мм}$$

Толщина внутренней части штуцера:

$$s_{ш3} := s_{ш1} = 10 \text{ мм}$$

Расчетная длина внутренней части штуцера:

$$l_{3p} := \min \left[l_3, 0.5 \cdot \sqrt{(d_{B1} + 2 \cdot c) \cdot (s_{ш3} - c - c)} \right] = 23.027 \text{ мм}$$

Расчетная длина накладного кольца:

$$l_{2p} := 100 \text{ мм}$$

Толщина накладного кольца:

$$s_{ш2} := 20 \text{ мм}$$

Ширина зоны укрепления в обечайке:

$$L_{01} := \sqrt{D \cdot (s_1 - c)} = 230.217 \text{ мм}$$

Расчетная ширина зоны укрепления в обечайке:

$$l_p := L_{01} = 230.217 \text{ мм}$$

Расчетный диаметр одиночного отверстия, не требующий дополнительного укрепления:

$$d_{0p} := 0.4 \cdot \sqrt{D \cdot (s_1 - c)} = 92.087 \text{ мм}$$

Укрепление отверстия накладным кольцом:

$$A_p := 0.5 \cdot (d_{y1} - d_{0p}) \cdot s_{ш1}$$

$$A_p = 1.04 \times 10^3 \text{ мм}^2$$

$$\Phi_p := l_{1p} \cdot (s_1 - s_{p1} - c) \cdot \chi_1 + l_{3p} \cdot s_{ш2} \cdot \chi_3 + l_{2p} \cdot (s_1 - c - c) \cdot \chi_2 + l_p \cdot (s - s_{ш1} - c) = 7.007 \times 10^3$$

$$\text{Пров2} := \begin{cases} \text{"Условие укрепления отверстия выполняются"} & \text{if } \Phi_p \geq A_p \\ \text{"Условие укрепления отверстия НЕ выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{Пров2} = \text{"Условие укрепления отверстия выполняются"}$$

Расчет укрепления отверстия с помощью накладного кольца при необходимости определения площади этого кольца:

Площадь накладного кольца:

$$A_2 := s_{ш2} \cdot l_{3p} = 460.543 \text{ мм}^2$$

$$\Phi_{2p} := \frac{1}{\chi_3} \cdot [0.5 \cdot (d_{p1} - d_{0p}) \cdot s_{ш1} - l_p \cdot (s - s_{ш1} - c) - l_{1p} \cdot (s_1 - s_{p1} - c) \cdot \chi_1 - l_{2p} \cdot (s_1 - c - c) \cdot \chi_2]$$

$$\text{Пров3} := \begin{cases} \text{"Условие укрепления отверстия выполняются"} & \text{if } A2 \geq \Phi_{2p} \\ \text{"Условие укрепления отверстия НЕ выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Пров3 = "Условие укрепления отверстия выполняются"

Коэффициент понижение прочности:

$$K_1 := 1$$

$$\phi_1 := \phi$$

$$V := \frac{1 + \frac{l_{1p} \cdot (s_{ш1} - c) \cdot \chi_1 + l_{2p} \cdot s_{ш2} \cdot \chi_2 + l_{3p} \cdot (s_{ш3} - 2 \cdot c) \cdot \chi_3}{l_p \cdot (s_1 - c)}}{1 + 0.5 \cdot \frac{d_{p1} - d_{0p}}{l_p} + K_1 \cdot \frac{d_{в1} + 2 \cdot c}{D} \cdot \frac{\phi}{\phi_1} \cdot \frac{l_{1p}}{l_p}} = 0.962$$

Находим допускаемое избыточное давление:

$$P_{дш1} := \frac{2 \cdot K_1 \cdot (s_1 - c) \cdot \phi \cdot \sigma_{Д1} \cdot V}{D + (s_1 - c) \cdot V} = 3.7 \times 10^6 \text{ Па}$$

Рассчитаем максимальное давление которое может быть оказана, при эксплуатации, или при гидроиспытаниях на штуцер или фланец аппарата.

$$P_1 := \max(P_{усл}, P_{и}) = 3.455 \times 10^6 \text{ Па}$$

Проверка условия прочности стенок, штуцера:

$$\text{Пров}_{шт2} := \begin{cases} \text{"Условие прочности выполняется"} & \text{if } P_{дш1} \geq P_1 \\ \text{"Условие прочности НЕ выполняется"} & \text{if } P_{дш1} < P_1 \end{cases}$$

Пров_{шт2} = "Условие прочности выполняется"

Расчет укрепления отверстия штуцера для дистиллята

Толщина стенки штуцера:

$$s_{шт1} := 12 \text{ мм}$$

Длина внутренней части штуцера:

$$l_{шт} := 40 \text{ мм}$$

Отношения допускаемых напряжений:

-для внешней части штуцера:

$$\chi_{1.1} := \min\left(1, \frac{\sigma_{D1}}{\sigma_{D20}}\right) = 1$$

для накладного кольца:

$$\chi_{2.2} := \min\left(1, \frac{\sigma_{D2}}{\sigma_{D20}}\right) = 1$$

для внутренней части штуцера:

$$\chi_{3.3} := \min\left(1, \frac{\sigma_{D1}}{\sigma_{D20}}\right) = 1$$

Условный расчетный диаметр отверстия:

$$d_{y1.1} := d_{B2} + 2 \cdot s_2 \cdot (1 - \chi_1) = 400 \text{ мм}$$

Расчетный диаметр отверстия (ось штуцера совпадает с нормалью к поверхности в центре отверстия):

$$d_{y1.1} := d_{y1} + 2 \cdot c = 403 \text{ мм}$$

Длина штуцера:

$$l_{1.1} := 180 \text{ мм}$$

Расчетная длина внешней части патрубка:

$$l_{1.1p} := \min\left[l_1, 1.25 \cdot \sqrt{(d_{B2} + 2 \cdot c) \cdot (s_{ш1} - c)}\right] = 81.312 \text{ мм}$$

Толщина внутренней части штуцера:

$$s_{ш3} := s_{ш1} = 12 \text{ мм}$$

Расчетная длина внутренней части штуцера:

$$l_{3.1p} := \min\left[l_3, 0.5 \cdot \sqrt{(d_{B2} + 2 \cdot c) \cdot (s_{ш3} - c - c)}\right] = 30.112 \text{ мм}$$

Расчетная длина накладного кольца:

$$l_{2.1p} := 150 \text{ мм}$$

Толщина накладного кольца:

$$s_{ш2} := 20 \text{ мм}$$

Ширина зоны укрепления в обечайке:

$$L_{01} := \sqrt{D_d \cdot (s_2 - c)} = 230.217 \text{ мм}$$

Расчетная ширина зоны укрепления в обечайке:

$$l_p := L_{01} = 230.217 \text{ мм}$$

Расчетный диаметр одиночного отверстия, не требующий дополнительного укрепления:

$$d_{0p} := 0.4 \cdot \sqrt{D_d \cdot (s_2 - c)} = 92.087 \text{ мм}$$

Укрепление отверстия накладным кольцом:

$$A_p := 0.5 \cdot (d_{y1} - d_{0p}) \cdot s_{ш1}$$

$$A_p = 1.847 \times 10^3 \text{ мм}^2$$

$$\Phi_p := l_{1p} \cdot (s_1 - s_{p1} - c) \cdot \chi_1 + l_{3p} \cdot s_{ш2} \cdot \chi_3 + l_{2p} \cdot (s_1 - c - c) \cdot \chi_2 + l_p \cdot (s - s_{ш1} - c) = 7.998 \times 10^3$$

$$\text{Пров2} := \begin{cases} \text{"Условие укрепления отверстия выполняются"} & \text{if } \Phi_p \geq A_p \\ \text{"Условие укрепления отверстия НЕ выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{Пров2} = \text{"Условие укрепления отверстия выполняются"}$$

Расчет укрепления отверстия с помощью накладного кольца при необходимости определения площади этого кольца:

Площадь накладного кольца:

$$A_2 := s_{ш2} \cdot l_{3p} = 602.246 \text{ мм}^2$$

$$\Phi_{2p} := \frac{1}{\chi_3} \cdot [0.5 \cdot (d_{p1} - d_{0p}) \cdot s_{ш1} - l_p \cdot (s - s_{ш1} - c) - l_{1p} \cdot (s_1 - s_{p1} - c) \cdot \chi_1 - l_{2p} \cdot (s_1 - c - c) \cdot \chi_2]$$

$$\text{Пров3} := \begin{cases} \text{"Условие укрепления отверстия выполняются"} & \text{if } A_2 \geq \Phi_{2p} \\ \text{"Условие укрепления отверстия НЕ выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{Пров3} = \text{"Условие укрепления отверстия выполняются"}$$

Коэффициент понижение прочности:

$$K_1 := 1$$

$$\phi_1 := \phi$$

$$V := \frac{1 + \frac{l_{1p} \cdot (s_{ш1} - c) \cdot \chi_1 + l_{2p} \cdot s_{ш2} \cdot \chi_2 + l_{3p} \cdot (s_{ш3} - 2 \cdot c) \cdot \chi_3}{l_p \cdot (s_1 - c)}}{1 + 0.5 \cdot \frac{d_{p1} - d_{0p}}{l_p} + K_1 \cdot \frac{d_{в2} + 2 \cdot c}{D_d} \cdot \frac{\phi}{\phi_1} \cdot \frac{l_{1p}}{l_p}} = 0.96$$

Находим допускаемое избыточное давление:

$$P_{дш1} := \frac{2 \cdot K_1 \cdot (s_2 - c) \cdot \phi \cdot \sigma_{Д1} \cdot V}{D_d + (s_2 - c) \cdot V} = 3.692 \times 10^6 \text{ Па}$$

Рассчитаем максимальное давление которое может быть оказана, при эксплуатации, или при гидроиспытаниях на штуцер или фланец аппарата.

$$P_1 := \max(P_{усл}, P_{и}) = 3.455 \times 10^6 \text{ Па}$$

Проверка условия прочности стенок, штуцера:

$$\text{Пров}_{шт3} := \begin{cases} \text{"Условие прочности выполняется"} & \text{if } P_{дш1} \geq P_1 \\ \text{"Условие прочности НЕ выполняется"} & \text{if } P_{дш1} < P_1 \end{cases}$$

Пров_{шт3} = "Условие прочности выполняется"

Расчет укрепления отверстия штуцера для флегмы

Толщина стенки штуцера:

$$s_{шт1} := 12 \text{ мм}$$

Длина внутренней части штуцера:

$$l_3 := 30 \text{ мм}$$

Отношения допускаемых напряжений:

-для внешней части штуцера:

$$\chi_{1.1} := \min\left(1, \frac{\sigma_{Д1}}{\sigma_{Д20}}\right) = 1$$

для накладного кольца:

$$\chi_{2.2} := \min\left(1, \frac{\sigma_{Д2}}{\sigma_{Д20}}\right) = 1$$

для внутренней части штуцера:

$$\chi_3 := \min\left(1, \frac{\sigma_{D1}}{\sigma_{D20}}\right) = 1$$

Условный расчетный диаметр отверстия:

$$d_{y1} := d_{B3} + 2 \cdot s_1 \cdot (1 - \chi_1) = 350 \text{ мм}$$

Расчетный диаметр отверстия (ось штуцера совпадает с нормалью к поверхности в центре отверстия):

$$d_{p1} := d_{y1} + 2 \cdot c = 353 \text{ мм}$$

Длина штуцера:

$$l_1 := 150 \text{ мм}$$

Расчетная длина внешней части патрубка:

$$l_{1p} := \min\left[l_1, 1.25 \cdot \sqrt{(d_{B3} + 2 \cdot c) \cdot (s_{ш1} - c)}\right] = 76.101 \text{ мм}$$

Толщина внутренней части штуцера:

$$s_{ш3} := s_{ш1} = 12 \text{ мм}$$

Расчетная длина внутренней части штуцера:

$$l_{3p} := \min\left[l_3, 0.5 \cdot \sqrt{(d_{B3} + 2 \cdot c) \cdot (s_{ш3} - c - c)}\right] = 28.182 \text{ мм}$$

Расчетная длина накладного кольца:

$$l_2 := 150 \text{ мм}$$

Толщина накладного кольца:

$$s_{ш2} := 20 \text{ мм}$$

Ширина зоны укрепления в обечайке:

$$L_{01} := \sqrt{D \cdot (s_1 - c)} = 230.217 \text{ мм}$$

Расчетная ширина зоны укрепления в обечайке:

$$l_p := L_{01} = 230.217 \text{ мм}$$

Расчетный диаметр одиночного отверстия, не требующий дополнительного укрепления:

$$d_{0p} := 0.4 \cdot \sqrt{D \cdot (s_1 - c)} = 92.087 \text{ мм}$$

Укрепление отверстия накладным кольцом:

$$A_p := 0.5 \cdot (d_{y1} - d_{0p}) \cdot s_{ш1}$$

$$A_p = 1.547 \times 10^3 \text{ мм}^2$$

$$\Phi_p := l_{1p} \cdot (s_1 - s_{p1} - c) \cdot \chi_1 + l_{3p} \cdot s_{ш2} \cdot \chi_3 + l_{2p} \cdot (s_1 - c - c) \cdot \chi_2 + l_p \cdot (s - s_{ш1} - c) = 7.957 \times 10^3$$

$$\text{Пров2} := \begin{cases} \text{"Условие укрепления отверстия выполняются"} & \text{if } \Phi_p \geq A_p \\ \text{"Условие укрепления отверстия НЕ выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{Пров2} = \text{"Условие укрепления отверстия выполняются"}$$

Расчет укрепления отверстия с помощью накладного кольца при необходимости определения площади этого кольца:

Площадь накладного кольца:

$$A_2 := s_{ш2} \cdot l_{3p} = 563.649 \text{ мм}^2$$

$$\Phi_{2p} := \frac{1}{\chi_3} \cdot \left[0.5 \cdot (d_{p1} - d_{0p}) \cdot s_{ш1} - l_p \cdot (s - s_{ш1} - c) - l_{1p} \cdot (s_1 - s_{p1} - c) \cdot \chi_1 - l_{2p} \cdot (s_1 - c - c) \cdot \chi_2 \right]$$

$$\text{Пров3} := \begin{cases} \text{"Условие укрепления отверстия выполняются"} & \text{if } A_2 \geq \Phi_{2p} \\ \text{"Условие укрепления отверстия НЕ выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{Пров3} = \text{"Условие укрепления отверстия выполняются"}$$

Коэффициент понижение прочности:

$$K_1 := 1$$

$$\phi_1 := \phi$$

$$V := \frac{1 + \frac{l_{1p} \cdot (s_{ш1} - c) \cdot \chi_1 + l_{2p} \cdot s_{ш2} \cdot \chi_2 + l_{3p} \cdot (s_{ш3} - 2 \cdot c) \cdot \chi_3}{l_p \cdot (s_1 - c)}}{1 + 0.5 \cdot \frac{d_{p1} - d_{0p}}{l_p} + K_1 \cdot \frac{d_{в3} + 2 \cdot c}{D} \cdot \frac{\phi}{\phi_1} \cdot \frac{l_{1p}}{l_p}} = 1.024$$

Находим допускаемое избыточное давление:

$$P_{доп1} := \frac{2 \cdot K_1 \cdot (s_1 - c) \cdot \phi \cdot \sigma_{Д1} \cdot V}{D + (s_1 - c) \cdot V} = 3.936 \times 10^6 \text{ Па}$$

Рассчитаем максимальное давление которое может быть оказана, при эксплуатации, или при гидроиспытаниях на штуцер или фланец аппарата.

$$P_1 := \max(P_{усл}, P_{и}) = 3.455 \times 10^6 \text{ Па}$$

Проверка условия прочности стенок, штуцера:

$$\text{Пров}_{\text{шт4}} := \begin{cases} \text{"Условие прочности выполняется"} & \text{if } P_{\text{дшт1}} \geq P_1 \\ \text{"Условие прочности НЕ выполняется"} & \text{if } P_{\text{дшт1}} < P_1 \end{cases}$$

$$\text{Пров}_{\text{шт4}} = \text{"Условие прочности выполняется"}$$

Расчет укрепления отверстия штуцера для входа греющего агента (водяной пар)

Толщина стенки штуцера:

$$s_{\text{шт1}} := 12 \text{ мм}$$

Длина внутренней части штуцера:

$$l_2 := 40 \text{ мм}$$

Отношения допускаемых напряжений:

-для внешней части штуцера:

$$\chi_{11} := \min\left(1, \frac{\sigma_{\text{Д1}}}{\sigma_{\text{Д20}}}\right) = 1$$

для накладного кольца:

$$\chi_{21} := \min\left(1, \frac{\sigma_{\text{Д2}}}{\sigma_{\text{Д20}}}\right) = 1$$

для внутренней части штуцера:

$$\chi_{31} := \min\left(1, \frac{\sigma_{\text{Д1}}}{\sigma_{\text{Д20}}}\right) = 1$$

Условный расчетный диаметр отверстия:

$$d_{y1} := d_{\text{в4}} + 2 \cdot s_1 \cdot (1 - \chi_{11}) = 350 \text{ мм}$$

Расчетный диаметр отверстия (ось штуцера совпадает с нормалью к поверхности в центре отверстия):

$$d_{\text{р1}} := d_{y1} + 2 \cdot c = 353 \text{ мм}$$

Длина штуцера:

$$l_1 := 150 \text{ мм}$$

Расчетная длина внешней части патрубка:

$$l_{1p} := \min \left[l_1, 1.25 \sqrt{(d_{B4} + 2 \cdot c) \cdot (s_{ш1} - c)} \right] = 76.101 \text{ мм}$$

Толщина внутренней части штуцера:

$$s_{ш3} := s_{ш1} = 12 \text{ мм}$$

Расчетная длина внутренней части штуцера:

$$l_{3p} := \min \left[l_3, 0.5 \sqrt{(d_{B4} + 2 \cdot c) \cdot (s_{ш3} - c - c)} \right] = 28.182 \text{ мм}$$

Расчетная длина накладного кольца:

$$l_{2p} := 150 \text{ мм}$$

Толщина накладного кольца:

$$s_{ш2} := 20 \text{ мм}$$

Ширина зоны укрепления в обечайке:

$$L_{01} := \sqrt{D \cdot (s_1 - c)} = 230.217 \text{ мм}$$

Расчетная ширина зоны укрепления в обечайке:

$$l_p := L_{01} = 230.217 \text{ мм}$$

Расчетный диаметр одиночного отверстия, не требующий дополнительного укрепления:

$$d_{0p} := 0.4 \cdot \sqrt{D \cdot (s_1 - c)} = 92.087 \text{ мм}$$

Укрепление отверстия накладным кольцом:

$$A_p := 0.5 \cdot (d_{y1} - d_{0p}) \cdot s_{ш1}$$

$$A_p = 1.547 \times 10^3 \text{ мм}^2$$

$$\Phi_p := l_{1p} \cdot (s_1 - s_{p1} - c) \cdot \chi_1 + l_{3p} \cdot s_{ш2} \cdot \chi_3 + l_{2p} \cdot (s_1 - c - c) \cdot \chi_2 + l_p \cdot (s - s_{ш1} - c) = 7.957 \times 10^3$$

$$\text{Пров2} := \begin{cases} \text{"Условие укрепления отверстия выполняются"} & \text{if } \Phi_p \geq A_p \\ \text{"Условие укрепления отверстия НЕ выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{Пров2} = \text{"Условие укрепления отверстия выполняются"}$$

Расчет укрепления отверстия с помощью накладного кольца при необходимости определения площади этого кольца:

Площадь накладного кольца:

$$A_2 := s_{ш2} \cdot l_{2p} = 563.649 \text{ мм}^2$$

$$\Phi_{2p} := \frac{1}{\chi_3} \cdot [0.5 \cdot (d_{p1} - d_{0p}) \cdot s_{ш1} - l_p \cdot (s - s_{ш1} - c) - l_{1p} \cdot (s_1 - s_{p1} - c) \cdot \chi_1 - l_{2p} \cdot (s_1 - c - c) \cdot \chi_2]$$

$$\text{Пров3} := \begin{cases} \text{"Условие укрепления отверстия выполняются"} & \text{if } A2 \geq \Phi_{2p} \\ \text{"Условие укрепления отверстия НЕ выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Пров3 = "Условие укрепления отверстия выполняются"

Коэффициент понижение прочности:

$$K_1 := 1$$

$$\phi_1 := \phi$$

$$V := \frac{1 + \frac{l_{1p} \cdot (s_{ш1} - c) \cdot \chi_1 + l_{2p} \cdot s_{ш2} \cdot \chi_2 + l_{3p} \cdot (s_{ш3} - 2 \cdot c) \cdot \chi_3}{l_p \cdot (s_1 - c)}}{1 + 0.5 \cdot \frac{d_{p1} - d_{0p}}{l_p} + K_1 \cdot \frac{d_{в2} + 2 \cdot c}{D} \cdot \frac{\phi}{\phi_1} \cdot \frac{l_{1p}}{l_p}} = 1.019$$

Находим допускаемое избыточное давление:

$$P_{\text{доп}} := \frac{2 \cdot K_1 \cdot (s_1 - c) \cdot \phi \cdot \sigma_{Д1} \cdot V}{D + (s_1 - c) \cdot V} = 3.917 \times 10^6 \text{ Па}$$

Рассчитаем максимальное давление которое может быть оказана, при эксплуатации, или при гидроиспытаниях на штуцер или фланец аппарата.

$$P_{\text{д}} := \max(P_{\text{усл}}, P_{\text{и}}) = 3.455 \times 10^6 \text{ Па}$$

Проверка условия прочности стенок, штуцера:

$$\text{Пров}_{\text{шт5}} := \begin{cases} \text{"Условие прочности выполняется"} & \text{if } P_{\text{дшт1}} \geq P_1 \\ \text{"Условие прочности НЕ выполняется"} & \text{if } P_{\text{дшт1}} < P_1 \end{cases}$$

Пров_{шт5} = "Условие прочности выполняется"

Расчет укрепления отверстия штуцера для флегмы

Толщина стенки штуцера:

$$s_{\text{шт1}} := 12 \text{ мм}$$

Длина внутренней части штуцера:

$$l_3 := 30 \text{ мм}$$

Отношения допускаемых напряжений:

-для внешней части штуцера:

$$\chi_{1.1} := \min\left(1, \frac{\sigma_{D1}}{\sigma_{D20}}\right) = 1$$

для накладного кольца:

$$\chi_{2.2} := \min\left(1, \frac{\sigma_{D2}}{\sigma_{D20}}\right) = 1$$

для внутренней части штуцера:

$$\chi_{3.3} := \min\left(1, \frac{\sigma_{D1}}{\sigma_{D20}}\right) = 1$$

Условный расчетный диаметр отверстия:

$$d_{y1.1} := d_{B5} + 2 \cdot s_2 \cdot (1 - \chi_1) = 400 \text{ мм}$$

Расчетный диаметр отверстия (ось штуцера совпадает с нормалью к поверхности в центре отверстия):

$$d_{p1.1} := d_{y1} + 2 \cdot c = 403 \text{ мм}$$

Длина штуцера:

$$l_{1.1} := 150 \text{ мм}$$

Расчетная длина внешней части патрубка:

$$l_{1p.1} := \min\left[l_1, 1.25 \cdot \sqrt{(d_{B5} + 2 \cdot c) \cdot (s_{ш1} - c)}\right] = 81.312 \text{ мм}$$

Толщина внутренней части штуцера:

$$s_{ш3.3} := s_{ш1} = 12 \text{ мм}$$

Расчетная длина внутренней части штуцера:

$$l_{3p.1} := \min\left[l_3, 0.5 \cdot \sqrt{(d_{B5} + 2 \cdot c) \cdot (s_{ш3} - c - c)}\right] = 30 \text{ мм}$$

Расчетная длина накладного кольца:

$$l_{2p.1} := 150 \text{ мм}$$

Толщина накладного кольца:

$$s_{ш2.2} := 20 \text{ мм}$$

Ширина зоны укрепления в обечайке:

$$L_{01} := \sqrt{D_d \cdot (s_2 - c)} = 230.217 \text{ мм}$$

Расчетная ширина зоны укрепления в обечайке:

$$l_p := L_{01} = 230.217 \text{ мм}$$

Расчетный диаметр одиночного отверстия, не требующий дополнительного укрепления:

$$d_{0p} := 0.4 \cdot \sqrt{D_d \cdot (s_2 - c)} = 92.087 \text{ мм}$$

Укрепление отверстия накладным кольцом:

$$A_p := 0.5 \cdot (d_{y1} - d_{0p}) \cdot s_{ш1}$$

$$A_p = 1.847 \times 10^3 \text{ мм}^2$$

$$\Phi_p := l_{1p} \cdot (s_1 - s_{p1} - c) \cdot \chi_1 + l_{3p} \cdot s_{ш2} \cdot \chi_3 + l_{2p} \cdot (s_1 - c - c) \cdot \chi_2 + l_p \cdot (s - s_{ш1} - c) = 7.996 \times 10^3$$

$$\text{Пров2} := \begin{cases} \text{"Условие укрепления отверстия выполняются"} & \text{if } \Phi_p \geq A_p \\ \text{"Условие укрепления отверстия НЕ выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{Пров2} = \text{"Условие укрепления отверстия выполняются"}$$

Расчет укрепления отверстия с помощью накладного кольца при необходимости определения площади этого кольца:

Площадь накладного кольца:

$$A_2 := s_{ш2} \cdot l_{3p} = 600 \text{ мм}^2$$

$$\Phi_{2p} := \frac{1}{\chi_3} \cdot [0.5 \cdot (d_{p1} - d_{0p}) \cdot s_{ш1} - l_p \cdot (s - s_{ш1} - c) - l_{1p} \cdot (s_1 - s_{p1} - c) \cdot \chi_1 - l_{2p} \cdot (s_1 - c - c) \cdot \chi_2]$$

$$\text{Пров3} := \begin{cases} \text{"Условие укрепления отверстия выполняются"} & \text{if } A_2 \geq \Phi_{2p} \\ \text{"Условие укрепления отверстия НЕ выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{Пров3} = \text{"Условие укрепления отверстия выполняются"}$$

Коэффициент понижение прочности:

$$K_1 := 1$$

$$\phi_1 := \phi$$

$$V := \frac{1 + \frac{l_{1p} \cdot (s_{ш1} - c) \cdot \chi_1 + l_{2p} \cdot s_{ш2} \cdot \chi_2 + l_{3p} \cdot (s_{ш3} - 2 \cdot c) \cdot \chi_3}{l_p \cdot (s_1 - c)}}{1 + 0.5 \cdot \frac{d_{p1} - d_{0p}}{l_p} + K_1 \cdot \frac{d_{в3} + 2 \cdot c}{D_d} \cdot \frac{\phi}{\phi_1} \cdot \frac{l_{1p}}{l_p}} = 0.965$$

Находим допускаемое избыточное давление:

$$P_{\text{доп}} := \frac{2 \cdot K_1 \cdot (s_2 - c) \cdot \phi \cdot \sigma_{Д1} \cdot V}{D_d + (s_2 - c) \cdot V} = 3.71 \times 10^6 \text{ Па}$$

Рассчитаем максимальное давление которое может быть оказана, при эксплуатации, или при гидроиспытаниях на штуцер или фланец аппарата.

$$P_1 := \max(P_{\text{усл}}, P_{\text{и}}) = 3.455 \times 10^6 \text{ Па}$$

Проверка условия прочности стенок, штуцера:

$$\text{Пров}_{\text{шт6}} := \begin{cases} \text{"Условие прочности выполняется"} & \text{if } P_{\text{дш1}} \geq P_1 \\ \text{"Условие прочности НЕ выполняется"} & \text{if } P_{\text{дш1}} < P_1 \end{cases}$$

$$\text{Пров}_{\text{шт6}} = \text{"Условие прочности выполняется"}$$

5.1.6. Подбор люка-лаза: (конструктивно) согласно [7]

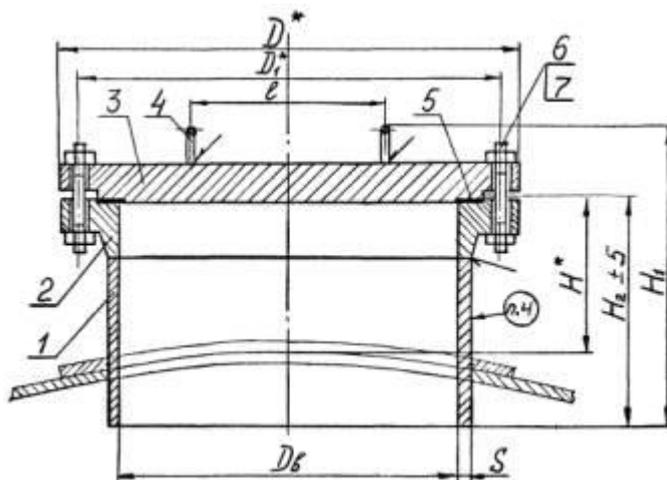


Рис. 5.1.5 Люк лаз.

Данные:

- Условное давление $P = 2.5 \text{ МПа}$;
- Внутренний диаметр отверстия под шпильку $d=26 \text{ мм}$;
- Диаметр фланца $D\phi=740 \text{ мм}$;

-Число отверстий $n=20$;

-Материал фланца сталь 12МХ;

-Диаметр болтовой окружности $D_b=700$ мм;

Толщина стенки люка:

$$s_{\text{Л}} := 16 \text{ мм}$$

Внутренний диаметр отверстия патрубка, фланца люка:

$$D_{\text{Л}} := 600 \text{ мм}$$

Высота патрубка люка:

$$l_{\text{Н}} := 320 \text{ мм}$$

Высота патрубка:

$$H_2 := 455 \text{ мм}$$

Высота внутренней части патрубка:

$$l_{\text{ВН}} := H_2 - l_{\text{Н}} - s_1 = 107 \text{ мм}$$

Расчет укрепления отверстия люка: согласно [6]

Отношения допускаемых напряжений:

-для внешней части штуцера:

$$\chi_{1.1} := \min\left(1, \frac{\sigma_{\text{Д1}}}{\sigma_{\text{Д20}}}\right) = 1$$

для накладного кольца:

$$\chi_{2.2} := \min\left(1, \frac{\sigma_{\text{Д2}}}{\sigma_{\text{Д20}}}\right) = 1$$

для внутренней части штуцера:

$$\chi_{3.3} := \min\left(1, \frac{\sigma_{\text{Д1}}}{\sigma_{\text{Д20}}}\right) = 1$$

Условный расчетный диаметр отверстия:

$$d_{\text{у.1}} := D_{\text{Л}} + 2 \cdot s_1 \cdot (1 - \chi_{1.1}) = 600 \text{ мм}$$

Расчетный диаметр отверстия (ось штуцера совпадает с нормалью к поверхности в центре отверстия):

$$d_{p1} := d_{y1} + 2 \cdot c = 603 \text{ мм}$$

Расчетная длина внешней части патрубка:

$$l_{1p} := \min \left[l_H, 1.25 \sqrt{(D_L + 2 \cdot c) \cdot (s_{Л1} - c)} \right] = 116.883 \text{ мм}$$

Толщина внутренней части штуцера:

$$s_{ш3} := s_{Л1} = 16 \text{ мм}$$

Расчетная длина внутренней части штуцера:

$$l_{3p} := \min \left[l_{ВН}, 0.5 \cdot \sqrt{(D_L + 2 \cdot c) \cdot (s_{ш3} - c - c)} \right] = 44.269 \text{ мм}$$

Расчетная длина накладного кольца:

$$l_{2p} := 200 \text{ мм}$$

Толщина накладного кольца:

$$s_{ш2} := 30 \text{ мм}$$

Ширина зоны укрепления в обечайке:

$$L_{01} := \sqrt{D \cdot (s_1 - c)} = 230.217 \text{ мм}$$

Расчетная ширина зоны укрепления в обечайке:

$$l_{p1} := L_{01} = 230.217 \text{ мм}$$

Расчетный диаметр одиночного отверстия, не требующий дополнительного укрепления:

$$d_{0p} := 0.4 \cdot \sqrt{D \cdot (s_1 - c)} = 92.087 \text{ мм}$$

Укрепление отверстия накладным кольцом:

$$A_p := 0.5 \cdot (d_{y1} - d_{0p}) \cdot s_{ш1}$$

$$A_p = 3.047 \times 10^3 \text{ мм}^2$$

$$\Phi_p := l_{1p} \cdot (s_1 - s_{p1} - c) \cdot \chi_1 + l_{3p} \cdot s_{ш2} \cdot \chi_3 + l_{2p} \cdot (s_1 - c - c) \cdot \chi_2 + l_p \cdot (s - s_{ш1} - c) = 1.004 \times 10^4$$

$$\text{Пров2} := \begin{cases} \text{"Условие укрепления отверстия выполняются"} & \text{if } \Phi_p \geq A_p \\ \text{"Условие укрепления отверстия НЕ выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{Пров2} = \text{"Условие укрепления отверстия выполняются"}$$

Расчет укрепления отверстия с помощью накладного кольца при необходимости определения площади этого кольца:

Площадь накладного кольца:

$$A_2 := s_{ш2} \cdot l_{3p} = 1.328 \times 10^3 \text{ мм}^2$$

$$\Phi_{2p} := \frac{1}{\chi_3} \left[0.5 \cdot (d_{p1} - d_{0p}) \cdot s_{ш1} - l_p \cdot (s - s_{ш1} - c) - l_{1p} \cdot (s_1 - s_{p1} - c) \cdot \chi_1 - l_{2p} \cdot (s_1 - c - c) \cdot \chi_2 \right]$$

$$\text{Пров}_3 := \begin{cases} \text{"Условие укрепления отверстия выполняются"} & \text{if } A_2 \geq \Phi_{2p} \\ \text{"Условие укрепления отверстия НЕ выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Пров₃ = "Условие укрепления отверстия выполняются"

Коэффициент понижение прочности:

$$K_1 := 1$$

$$\phi_1 := \phi$$

$$V := \frac{1 + \frac{l_{1p} \cdot (s_1 - c) \cdot \chi_1 + l_{2p} \cdot s_{ш2} \cdot \chi_2 + l_{3p} \cdot (s_{ш3} - 2 \cdot c) \cdot \chi_3}{l_p \cdot (s_1 - c)}}{1 + 0.5 \cdot \frac{d_{p1} - d_{0p}}{l_p} + K_1 \cdot \frac{D_{л} + 2 \cdot c}{D} \cdot \frac{\phi}{\phi_1} \cdot \frac{l_{1p}}{l_p}} = 1.041$$

Находим допускаемое избыточное давление:

$$P_{дш1} := \frac{2 \cdot K_1 \cdot (s_1 - c) \cdot \phi \cdot \sigma_{Д1} \cdot V}{D + (s_1 - c) \cdot V} = 4 \times 10^6 \text{ Па}$$

Рассчитаем максимальное давление которое может быть оказана, при эксплуатации, или при гидроиспытаниях на штуцер или фланец аппарата.

$$P_1 := \max(P_{усл}, P_{и}) = 3.455 \times 10^6 \text{ Па}$$

Проверка условия прочности стенок, штуцера:

$$\text{Пров}_{\text{люка}} := \begin{cases} \text{"Условие прочности выполняется"} & \text{if } P_{дш1} \geq P_1 \\ \text{"Условие прочности НЕ выполняется"} & \text{if } P_{дш1} < P_1 \end{cases}$$

Пров_{люка} = "Условие прочности выполняется"

5.1.7. Расчет тарелок

Исходные данные:

Материал: Сталь 12Х18Н10Т

Определение толщины тарелки

согласно [8]

$$b := 230 \text{ мм}$$

- Меньшая сторона стенки

$$K := 0.36$$

- Коэффициент, зависящий от способа закрепления стенки.

Коэффициент ослабления тарелки отверстиями:

Расстояние между центрами отверстий на тарелке:

$$t := 100 \text{ мм}$$

Диаметр отверстий:

$$d := 40 \text{ мм}$$

$$\mu_T := \frac{t - d}{t} = 0.6$$

Предел текучести для материала тарелки:

$$\tau_{\text{тар}} := 240 \cdot 10^6 \text{ Па}$$

Запас прочности:

$$n_T := 1.65$$

Поправочный коэффициент, учитывающий условия эксплуатации аппарата:

$$\eta_T := 0.9$$

Допускаемое напряжение на изгиб для материала тарелки:

$$\sigma_{\text{из}} := \frac{\tau_{\text{тар}}}{n_T} \cdot \eta_T = 1.309 \times 10^8 \text{ Па}$$

Ускорение свободного падения:

$$g = 9.8 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

Высота слоя жидкости на тарелки:

$$h := 0.02 \text{ м}$$

Плотность жидкости на тарелки:

$$\rho_{\text{жид}} := 470.1 \frac{\text{кг}}{\text{м}}$$

масса человека, назначаем конструктивно:

$$W_0 := 100 \text{ кг}$$

масса тарелки:

$$W_T := 145 \text{ кг}$$

Диаметр 2 метра

Давление действующее на тарелку аппарата:

$$p := \frac{4 \cdot g \cdot (W_T + W_0 + \rho_{\text{жид}} \cdot h)}{2^2 \cdot \pi} = 793.591 \text{ Па}$$

расчетная толщина тарелки:

$$s_{\text{тар}} := K \cdot b \cdot \sqrt{\frac{p}{\sigma_{\text{из}} \cdot \phi}} = 0.204 \text{ мм}$$

Исполнительная толщина тарелки:

$$s_{\text{итар}} := s_{\text{тар}} + c = 1.704 \text{ мм}$$

Принимаем толщину тарелки:

$$s_T := 4 \text{ мм}$$

Расчет на прогиб тарелки

коэффициент для жестко закрепленной по периметру секции равен:

$$K_c := 0.0206$$

Модуль упругости материала тарелки:

$$E_{\text{тар}} := 2 \cdot 10^{11} \text{ Па}$$

Согласно [8]

Относительный прогиб:

$$y := K_c \cdot \frac{b^4 \cdot p}{E_{\text{тар}} \cdot s_T} = 0.057 \text{ мм}$$

Прогиб тарелки не должен быть больше 2 мм, условие выполняется.

Расчет на поперечный изгиб

Согласно [8]

Периметр слива:

$$P_{\text{пер}} := 160 \text{ мм}$$

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

$$K_{\text{ребра}} := 8$$

Допускаемое напряжение на изгиб: согласно [8] принимаем

$$\sigma_{\text{изр}} := 134 \cdot 10^6 \text{ Па}$$

Предельно расчетный момент сопротивления укрепляющего ребра:

$$W_p := \frac{\left(\frac{b}{3}\right)^2 \cdot \left(\frac{P_{\text{пер}}}{3}\right) \cdot p}{2 \cdot K_{\text{ребра}} \cdot \sigma_{\text{изр}}} = 1.188 \text{ мм}^3$$

Выбираем уголок "Уголок 20х20 ГОСТ 8509-93" с $W_p=0.4 \text{ см}^3$

5.1.8. Полная масса колонны в условиях испытаний

Масса незаполненной колонны

Плотность материала аппарата в условиях гидроиспытания:

Сталь 12МХ

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

Высота аппарата:

$$H := 13.74 \text{ м}$$

$$H_{\text{об}} := H - 0.55 \cdot 2 = 12.64 \text{ м}$$

$$D := 2 \text{ м}$$

$$s_1 := 0.026 \text{ м}$$

Масса обечайки:

$$m_{\text{об}} := \left[\pi \cdot \frac{(D + 2 \cdot s_1)^2}{4} \right] \cdot H_{\text{об}} \cdot \rho_{\text{мет}} = 3.281 \times 10^5 \text{ кг}$$

Масса днища: согласно [8, стр. 441, таб. 16.1]

$$m_{\text{д}} := 988 \text{ кг}$$

Масса крышки:

$$m_k := 988 \text{ кг}$$

Число тарелок:

$$n_{\text{тар}} := 18$$

$$W_T = 145 \text{ кг}$$

Масса незаполненной колонны:

$$m_{\text{kol}} := m_{\text{об}} + m_d + m_k + n_T \cdot W_T = 3.327 \times 10^5 \text{ кг}$$

Масса заполненной колонны

Масса жидкости в колонне при гидравлических испытаниях:

$$\rho_{\text{вод}} := 1000 \left(\frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \right)$$

$$m_{\text{вод}} := \left(\pi \cdot \frac{D^2}{4} \right) \cdot H \cdot \rho_{\text{вод}} = 4.317 \times 10^4 \text{ кг}$$

Общая масса заполненной колонны:

$$m_{\text{об}} := m_{\text{kol}} + m_{\text{вод}} = 3.759 \times 10^5 \text{ кг}$$

5.1.9. Определение расчетных усилий для аппаратов колонного типа от ветровых нагрузок

Высота аппарата с учетом высоты опоры, и верхнего штуцера:

$$H_{\text{аппарта}} := 16.25 \text{ м}$$

Необходимость расчета:

$$\text{Расчет}_{\text{ветр}} := \begin{cases} \text{"расчет на ветровые нагрузки необходим"} & \text{if } \frac{H}{D} \geq 1.5 \\ \text{"расчет на ветровые нагрузки не обязателен"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{Расчет}_{\text{ветр}} = \text{"расчет на ветровые нагрузки необходим"}$$

для дальнейшего расчета принимаем аппарат в виде упруго заземленного стержня:

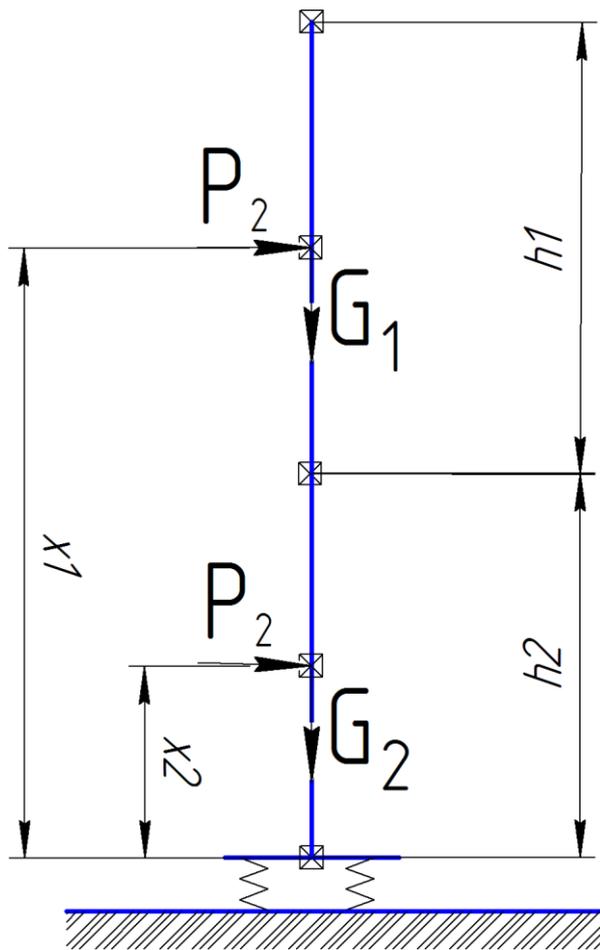


Рис. 5.1.6 Уруго-защемленный стержень

Расчет производится в соответствии с [9].

Условно разбиваем по высоте аппарат на два участка, где один равен 10 метрам, а второй 6.25 метров.

$$h_1 := 10 \text{ м}$$

$$h_2 := 6.25 \text{ м}$$

$$x_1 := 13.125 \text{ м}$$

$$x_2 := 5 \text{ м}$$

Вес аппарата:

Вес колонны для условий монтажа:

$$G_1 := m_{kol} \cdot g = 3.261 \times 10^6 \text{ Н}$$

Вес колонны для условий гидроиспытания:

$$G_2 := m_{obi} \cdot g = 3.684 \times 10^6 \text{ Н}$$

Таблица 5.4 Нормативный скоростной напор ветра q на высоте от поверхности земли до 10 м для разных географических районов СССР

| Географический район СССР | <i>I</i> | <i>II</i> | <i>III</i> | <i>IV</i> | <i>V</i> | <i>VI</i> | <i>VII</i> |
|---|----------|-----------|------------|-----------|----------|-----------|------------|
| $q \cdot 10^3, \text{ МН/м}^2$ (тс/м^2) | 0,027 | 0,035 | 0,045 | 0,055 | 0,07 | 0,085 | 0,1 |

2 район

$$q_0 := 350 \frac{\text{Н}}{\text{м}^2}$$

скоростной напор ветра

коэффициент Θ_i для каждого участка:

$$\Theta_1 := \left(\frac{x_1}{10} \right)^{0.32} = 1.091$$

$$K_1 := 0.7$$

$$\Theta_2 := \left(\frac{x_2}{10} \right)^{0.32} = 0.801$$

$$K_2 := 0.7$$

$$q_{1st} := q_0 \cdot \Theta_1 \cdot K_1 = 267.275 \text{ Па}$$

$$q_{2st} := q_0 \cdot \Theta_2 \cdot K_2 = 196.262 \text{ Па}$$

Статическая составляющая ветровой нагрузки на каждом участке.

Наружный диаметр участка:

$$D_{\text{нар}} := D + 2 \cdot s_1 = 2.052 \text{ м}$$

$$P_{1st} := q_{1st} \cdot D_{\text{нар}} \cdot h_1 = 5.484 \times 10^3 \text{ Н}$$

$$P_{2st} := q_{2st} \cdot D_{\text{нар}} \cdot h_2 = 2.517 \times 10^3 \text{ Н}$$

Коэффициент динамичности:

При минимальном периоде собственного колебания:

$$\varepsilon_1 := T_{\min} \cdot \frac{\sqrt{q_0}}{790} = 0.011$$

$$\xi_1 := 1.1 + \sqrt{15.5 \cdot \varepsilon_1} = 1.511$$

При максимальном периоде собственного колебания:

$$\varepsilon_2 := T_{\max} \cdot \frac{\sqrt{q_0}}{790} = 0.012$$

$$\xi_2 := 1.1 + \sqrt{15.5 \cdot \varepsilon_2} = 1.524$$

Коэффициент пульсации скоростного напора: (Определяем из рисунка

8)

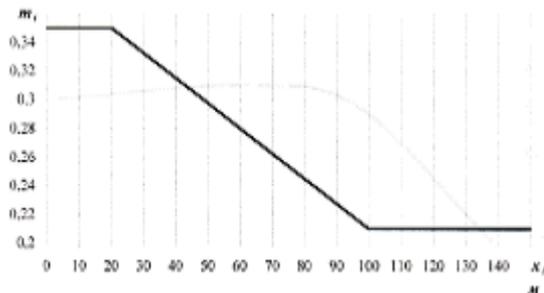


Рис. 5.1.8 График коэффициент пульсации скоростного напора

Для всех участков:

$$m := 0.35$$

Коэффициент увеличения скорости напора:

При максимальной силе тяжести аппарата:

$$\beta_1 := 1 + \xi_2 \cdot m = 1.533$$

$$\beta_2 := 1 + \xi_2 \cdot m = 1.533$$

При минимальной силе тяжести аппарата:

$$\beta_3 := 1 + \xi_1 \cdot m = 1.529$$

$$\beta_4 := 1 + \xi_1 \cdot m = 1.529$$

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

При максимальной силе тяжести аппарата:

$$P_{1w} := 0.6 \cdot \beta_1 \cdot D \cdot q_{1st} \cdot x_1 = 6.455 \times 10^3 \text{ Н}$$

$$P_2 := 0.6 \cdot \beta_2 \cdot D \cdot q_{2st} \cdot x_2 = 1.806 \times 10^3 \text{ Н}$$

При минимальном весе аппарата:

$$P_3 := 0.6 \cdot \beta_3 \cdot D \cdot q_{1st} \cdot x_1 = 6.436 \times 10^3 \text{ Н}$$

$$P_4 := 0.6 \cdot \beta_4 \cdot D \cdot q_{2st} \cdot x_2 = 1.8 \times 10^3 \text{ Н}$$

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

$$M_B = \sum P_i \cdot x_i$$

При максимальной силе тяжести аппарата:

$$M_{B1} := P_1 \cdot x_1 = 8.472 \times 10^4 \text{ Нм}$$

$$M_{B2} := P_2 \cdot x_2 = 9.029 \times 10^3 \text{ Нм}$$

$$M_{B_max} := M_{B1} + M_{B2} = 9.375 \times 10^4 \text{ Нм}$$

При минимальной силе тяжести аппарата:

$$M_{B3} := P_3 \cdot x_1 = \blacksquare \text{ Нм}$$

$$M_{B4} := P_4 \cdot x_2 = 9.002 \times 10^3 \text{ Нм}$$

$$M_{B_min} := M_{B1} + M_{B2} = 9.375 \times 10^4 \text{ Нм}$$

Размеры опорного кольца:

Внутренний диаметр кольца:

$$D_1 := D - 0.06 = 1.94 \text{ м}$$

Наружный диаметр кольца:

$$D_2 := D + 2 \cdot s_1 + 0.2 = 2.252 \text{ м}$$

Опорная площадь кольца:

$$F_K := \left(\frac{\pi \cdot D_2^2}{4} \right) - \left(\frac{\pi \cdot D_1^2}{4} \right) = 1.027 \text{ м}^2$$

Ширина фундаментного кольца:

$$L_{\phi} := D_2 - D_1 = 0.312 \text{ м}$$

Момент инерций фундаментного кольца:

$$I_k := \pi \cdot D^3 \cdot \frac{L_{\phi}}{8} = 0.98 \text{ м}^4$$

Момент инерций подошвы фундамента относительно центральной оси:

$$I_{\phi} := 1.3 \cdot I_k = 1.274 \text{ м}^4$$

Момент сопротивления опорной площадки кольца:

$$W_k := \frac{\pi}{32} \cdot \left(\frac{D_2^4 - D_1^4}{D_2} \right) = 0.504 \text{ м}^3$$

Максимальное напряжение сжатие на опорной поверхности опорного кольца:

$$\sigma_{\max} := \frac{G_2}{F_k} + \frac{M_{V_{\max}}}{W_k} = 3.772 \times 10^6 \text{ Па}$$

Проверка на выполнение условий:

$$q_d := 23 \cdot 10^6$$

Допускаемая удельная нагрузка на опорной поверхности.

$$\text{Пров}_{\text{ветр}1} := \begin{cases} \text{"Не требуется вносить изменения"} & \text{if } \sigma_{\max} \leq q_d \\ \text{"Внести изменения в размеры внутреннего кольца"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{Пров}_{\text{ветр}1} = \text{"Не требуется вносить изменения"}$$

Номинальная расчетная толщина опорного кольца:

$$l_{\text{н}} := \frac{D_2 - D}{2} = 0.126 \text{ м}$$

$$s_k := 1.73 \cdot l_{\text{н}} \cdot \sqrt{\frac{\sigma_{\max}}{\sigma_{\text{из}}}} = 0.037 \text{ м}$$

Принимаем толщину опорного кольца:

$$s_{\text{пр}} := 0.026 \text{ м}$$

Расчет на устойчивость аппарата против опрокидывания от ветровой нагрузки:

$$\sigma := \max\left(\frac{G_2}{F_K} + \frac{M_{B_max}}{W_K}, \frac{G_1}{F_K} - \frac{M_{B_min}}{W_K}\right) = 3.772 \times 10^6 \text{ Па}$$

Коэффициент устойчивости аппарата:

$$K_y := 0.42 \cdot \frac{G_2 \cdot D_2}{M_{B_max}} = 37.165$$

Проверка на устойчивость аппарата к ветровым нагрузкам:

$$\text{Пров}_{\text{ветр}2} := \begin{cases} \text{"Аппарат устойчив"} & \text{if } K_y > 1.5 \\ \text{"Аппарат не устойчив"} & \text{if } K_y \leq 1.5 \end{cases}$$

$$\text{Пров}_{\text{ветр}2} = \text{"Аппарат устойчив"}$$

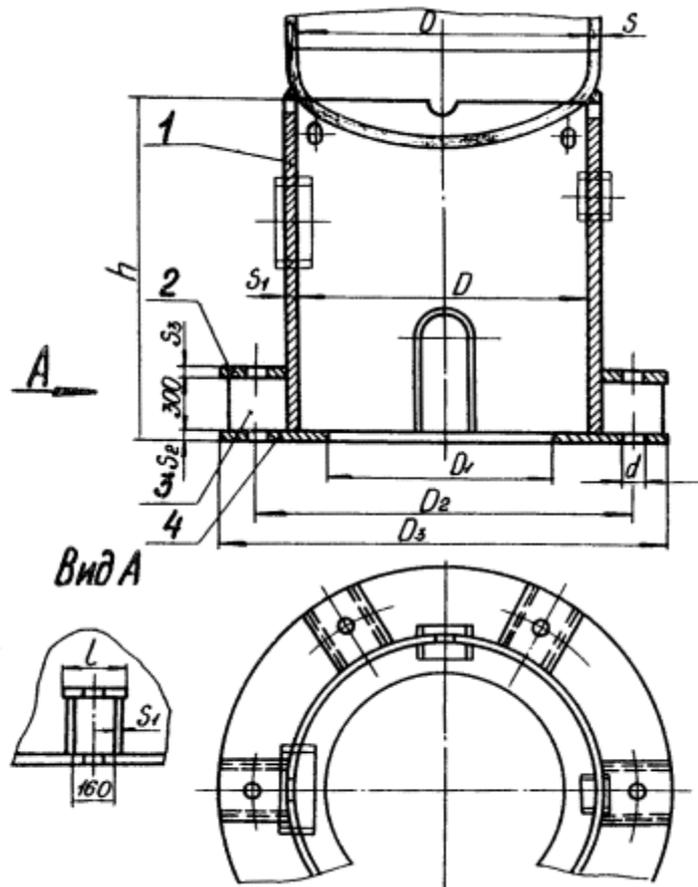


Рис. 5.1.9 Опоры цилиндрические с наружными стойками под болты

Общая условная расчетная нагрузка на фундаментные болты:

$$P_{\sigma} := 0.785 \cdot (D_2^2 - D_1^2) \cdot \sigma = 3.873 \times 10^6 \text{ Па}$$

Количество анкерных болтов: (конструктивно)

$$n_{\sigma} := 8$$

Нагрузка на один болт:

$$P_{\sigma 1} := \frac{P_{\sigma}}{n_{\sigma}} = 4.841 \times 10^5 \text{ Па}$$

Расчетный внутренний диаметр резьбы болта: Материал для болта
Сталь Х35

$$\sigma_{\sigma} := 230 \cdot 10^6$$

$$d_1 := \sqrt{\frac{4 \cdot P_{\sigma 1}}{\pi \cdot \sigma_{\sigma}}} + c = 0.053 \text{ м}$$

Принимаем диаметр болта:

М48

$$d_{\sigma} := 0.048 \text{ м}$$

Диаметр болтовой окружности:

$$D_{\sigma} := \begin{cases} D_{\sigma} \leftarrow D + 2 \cdot s_1 + 0.12 & \text{if } d_{\sigma} \leq 0.03 \\ D_{\sigma} \leftarrow D + 2 \cdot s_1 + 4 \cdot d_{\sigma} & \text{if } d_{\sigma} > 0.03 \end{cases}$$

$$D_{\sigma} = 2.244 \text{ м}$$

5.1.10. Расчет аппарата на сейсмическую нагрузку.

Величина сейсмической силы в середине i - го участка:

При $H/D < 15$

Относительные координаты центров тяжести участков:

$$\alpha_1 := \frac{x_1}{H_{\text{аппарта}}} = 0.808 \text{ м}$$

$$\alpha_2 := \frac{x_2}{H_{\text{аппарта}}} = 0.308 \text{ м}$$

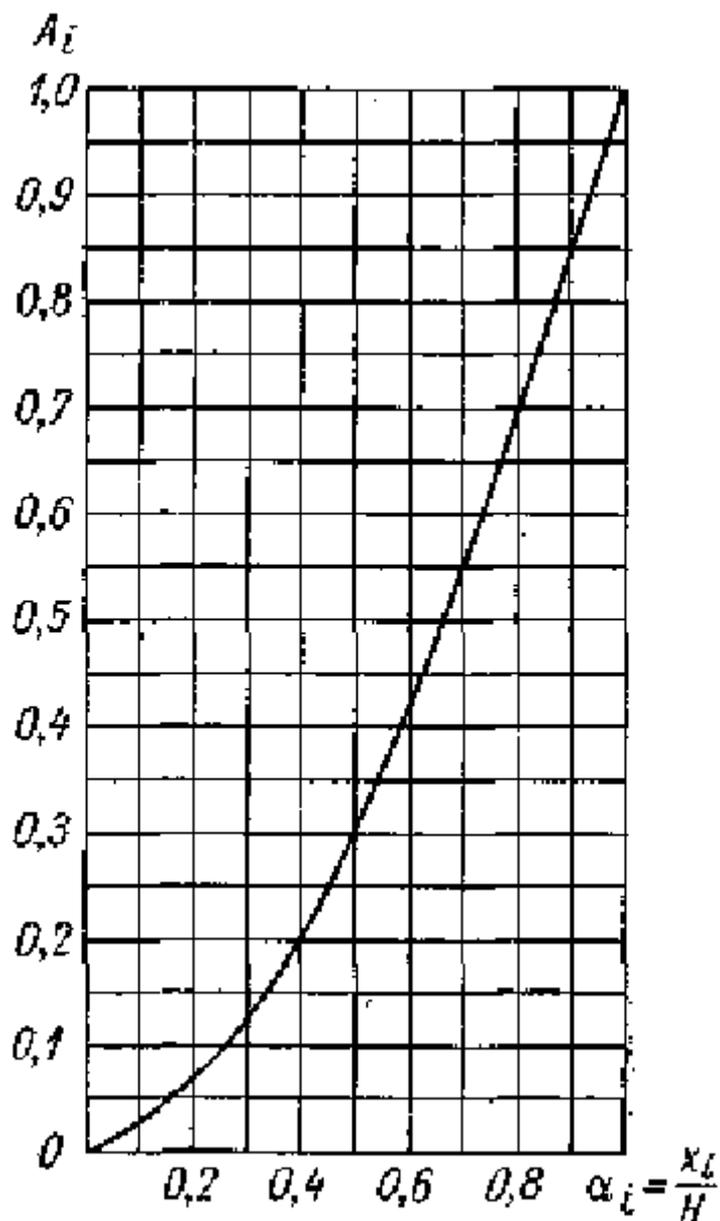


Рис. 5.1.10 График для определения параметра A ,
 Параметр определяемый по графику:

$$A_{t1} := 0.7$$

$$A_{t2} := 0.12$$

Коэффициент неравномерного сжатия грунта:

$$C_{\phi} := 50 \cdot 10^6 \frac{\text{Па}}{\text{м}}$$

$$I_{\phi} = 1.274 \text{ м}^4$$

Угол поворота опорного сечения определяется по формуле:

$$\phi_{\text{пов}} := \frac{1}{C_{\phi} \cdot I_{\phi}} = 1.57 \times 10^{-8}$$

Относительное перемещение центров тяжести участков:

$$K_{1\text{пер}} := \frac{H_{\text{апарта}}}{3 \cdot E \cdot I} \cdot A_{t1} + \phi_{\text{пов}} \cdot \alpha_1 = 1.292 \times 10^{-8}$$

$$K_{2\text{пер}} := \frac{H_{\text{апарта}}}{3 \cdot E \cdot I} \cdot A_{t2} + \phi_{\text{пов}} \cdot \alpha_2 = 4.872 \times 10^{-9}$$

Таблица 5.5 значение сейсмического коэффициента

| Расчетная сейсмичность, баллы | 7 | 8 | 9 |
|-------------------------------|-------|------|-----|
| K_c | 0,025 | 0,05 | 0,1 |

Сейсмический коэффициент:

$$K_c := 0.1$$

Вес 1-го участка:

$$G_{x1} := 2.26 \times 10^6 \text{ Н}$$

$$G_{x2} := G_1 - G_{x1} = 1.001 \times 10^6 \text{ Н}$$

На первом участке:

$$P_{c1} := \beta_1 \cdot G_{x1} \cdot K_{1\text{пер}} \cdot K_c \cdot \frac{(K_{1\text{пер}} \cdot G_{x1} + K_{2\text{пер}} \cdot G_{x1})}{(K_{1\text{пер}}^2 \cdot G_{x1} + K_{2\text{пер}}^2 \cdot G_{x1})} = 4.178 \times 10^5 \text{ Н}$$

Для второго участка:

$$P_{c2} := \beta_2 \cdot G_{x2} \cdot K_{2\text{пер}} \cdot K_c \cdot \frac{(K_{1\text{пер}} \cdot G_{x2} + K_{2\text{пер}} \cdot G_{x2})}{(K_{1\text{пер}}^2 \cdot G_{x2} + K_{2\text{пер}}^2 \cdot G_{x2})} = 6.974 \times 10^4 \text{ Н}$$

Расчетный изгибающий момент:

$$M_c := x_1 \cdot P_{c1} + x_2 \cdot P_{c2} = 5.833 \times 10^6 \text{ Нм}$$

Суммарный расчетный изгибающий момент:

$$M_{\text{сум}} := M_c + 0.3 \cdot M_{B_max} = 5.861 \times 10^6 \text{ Нм}$$

изгибающий момент от сейсмической нагрузки с учетом влияния высших форм колебаний:

$$M_{c1} := 1.25 \cdot M_c = 7.291 \times 10^6 \text{ Нм}$$

$$\text{Условие}_{\text{сейсм}} := \begin{cases} \text{"пересчет не требуется"} & \text{if } M_{\text{сум}} < M_{c1} \\ \text{"требуется пересчет"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{Условие}_{\text{сейсм}} = \text{"пересчет не требуется"}$$

Аппарат сейсмически устойчив!

5.2. Механический расчет теплообменника VX-645

Исходные данные

Аппарат типа: ТНГ

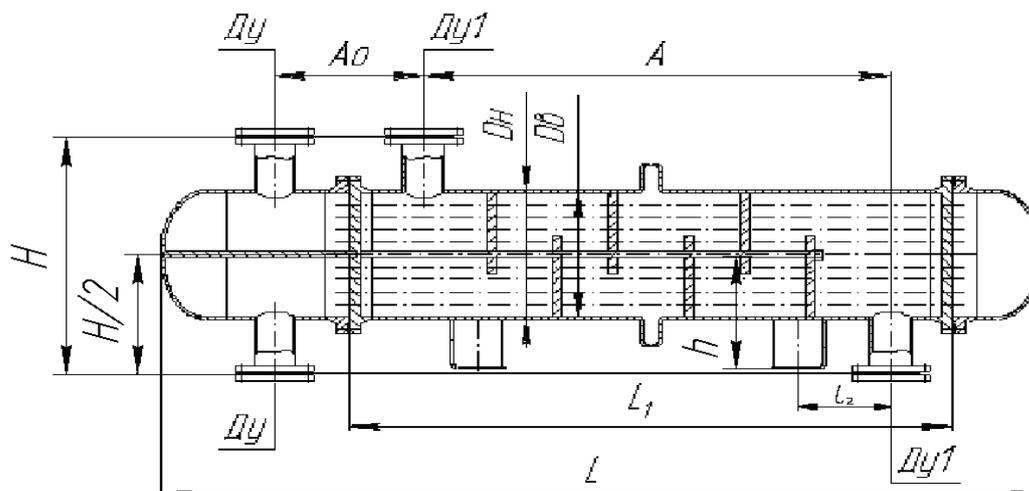


Рис. 5.2.1 Аппарат типа ТНГ, одноходовый по трубам.

Корпус аппарата изготовлен из материала: Сталь 12МХ.

Срок службы аппарата:

$$t_{\text{лет}} := 20 \text{ лет}$$

$$P_{\text{кор}} := 0.05 \frac{\text{мм}}{\text{год}} [\text{с.349,16}]$$

Скорость коррозии металла:

Внутренний диаметр кожуха:

$$\underline{D} := 120 \text{ мм}$$

Основные параметры и размеры теплообменника типа ТН,

согласно [10]

Длина труб

$$L_1 := 4000 \text{ мм}$$

Число труб:

$$\underline{n} := 102 \text{ шт}$$

Диаметр трубы внутренний:

$$d_{\text{тр}} := 21 \text{ мм}$$

толщина стенки трубы:

$$s_{\text{тр}} := 2 \text{ мм}$$

Расстояние между перегородками:

$$l_{\text{пер}} := 700 \text{ мм}$$

Давление в днище и трубах аппарата:

$$P_{\text{тр}} := 2.6 \cdot 10^6 \text{ Па}$$

$$P_{\text{MT}} := 2.6 \cdot 10^6 \text{ Па}$$

Давление в кожухе аппарата:

Средняя температура труб:

$$t_{\text{тр}} := 232 \text{ }^\circ\text{C}$$

Температура кожуха:

$$t_{\text{MT}} := 178 \text{ }^\circ\text{C}$$

Основные характеристики днища и крышки:

согласно [8,

стр. 440, таблица 16.1]

Внутренний диаметр днища:

$$D_{\text{д}} := 1200 \text{ мм}$$

Длина отбортовки днища:

$$h_{\text{от}} := 100 \text{ мм}$$

Длина днища (крышки):

$$h := 300 \text{ мм}$$

Длина аппарата:

$$L_{\text{ав}} := 2 \cdot (h_{\text{от}} + h) + L_1 + 395 = 5.195 \times 10^3 \text{ мм}$$

Расстояния от центров штуцеров:

$$A := 3200 \text{ мм}$$

Расстояние:

$$L_2 := 2000 \text{ мм}$$

Коэффициент прочности сварного шва:

$$\phi := 1 [1]$$

Прибавки к расчетным толщинам:

Прибавка для компенсации коррозии и эрозии:

$$c_1 := P_{\text{кор}} \cdot t_{\text{лет}} = 1 \text{ мм}$$

Прибавка для компенсации минусового допуска;

$$c_2 := 0 \text{ мм}$$

Технологическая прибавка;

$$c_3 := 0 \text{ мм}$$

Прибавки к расчетным толщинам элементов:

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

Допускаемое напряжение материала (Сталь 12МХ): [1] при температуре 20С:

$$\sigma_{Д20} := 147 \cdot 10^6 \text{ Па}$$

Допускаемое напряжение в рабочем состоянии :

(Так как изготовлен. из листового проката)

Допускаемое напряжение для материала по межтрубному пространству при $t=66 \text{ }^\circ\text{C}$:

$$t_{\text{таб1}} := \begin{pmatrix} 150 \\ 200 \end{pmatrix} \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\sigma_{\text{таб1}} := \begin{pmatrix} 147 \cdot 10^6 \\ 145 \cdot 10^6 \end{pmatrix} \text{ Па}$$

$$\sigma_{д1} := \text{Floor}(\text{linterp}(t_{\text{таб1}}, \sigma_{\text{таб1}}, t_{\text{MT}}), 0.5) = 1.459 \times 10^8 \text{ Па}$$

Допускаемое напряжение для материала по трубному пространству при $t=232 \text{ }^\circ\text{C}$:

$$t_{\text{таб2}} := \begin{pmatrix} 200 \\ 250 \end{pmatrix} \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\sigma_{\text{таб2}} := \begin{pmatrix} 145 \cdot 10^6 \\ 145 \cdot 10^6 \end{pmatrix} \text{ Па}$$

$$\sigma_{д2} := \text{Floor}\left(\text{linterp}(t_{таб2}, \sigma_{таб2}, t_{тр}), 0.5\right) = 1.45 \times 10^8 \text{ Па}$$

Ускорение свободного падения, м/с²

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

$$\rho_{\text{ВОДЫ}} := 1000 \frac{\text{КГ}}{\text{М}^3}$$

Плотность воды, кг/м³

Внутренний диаметр аппарата:

$$D := 1.2 \text{ м}$$

Расчетное давление в кожухе в межтрубном пространстве: расчет согласно [11]

$$P_{\text{рас1}} := P_{\text{МТ}} + g \cdot D \cdot \rho_{\text{ВОДЫ}} = 2.612 \times 10^6 \text{ Па}$$

Давление, возникающее при гидроиспытаниях в кожухе в межтрубном пространстве:

$$P_{\text{и1}} := 1.25 \cdot P_{\text{рас1}} \cdot \frac{\sigma_{Д20}}{\sigma_{д1}} = 3.29 \times 10^6 \text{ Па}$$

Условное давления в кожухе в межтрубном пространстве (Для расчета штуцеров, фланцевых соединений):

$$P_{\text{усл1}} := P_{\text{рас1}} \cdot \frac{\sigma_{Д20}}{\sigma_{д1}} = 2.632 \times 10^6 \text{ Па}$$

Рассчитаем максимальное давление которое может быть оказано, при эксплуатаций, или при гидроиспытаниях на кожух аппарата, с давлением в межтрубном пространстве.

$$P_1 := \max(P_{\text{рас1}}, P_{\text{и1}}) = 3.29 \times 10^6 \text{ Па}$$

Расчетное давление в днище и крышке аппарата:

$$P_{\text{рас2}} := (P_{\text{тр}} + g \cdot D \cdot \rho_{\text{ВОДЫ}}) = 2.612 \times 10^6 \text{ Па}$$

Давление возникающее при гидроиспытаниях в днище:

$$P_{и2} := 1.25 \cdot P_{рас2} \cdot \frac{\sigma_{Д20}}{\sigma_{д2}} = 3.31 \times 10^6 \text{ Па}$$

Условное давления в днище (Для расчета штуцеров, фланцевых соединений):

$$P_{усл2} := P_{рас2} \cdot \frac{\sigma_{Д20}}{\sigma_{д2}} = 2.648 \times 10^6 \text{ Па}$$

Рассчитаем максимальное давление которое может быть оказано, при эксплуатации, или при гидроиспытаниях на днище (крышку) аппарата, с давлением в трубном пространстве.

$$P_2 := \max(P_{рас2}, P_{и2}) = 3.31 \times 10^6 \text{ Па}$$

$$D := 120 \text{ мм}$$

5.2.1. Расчетная и исполнительные толщины стенок цилиндрической обечайки расчет проводится согласно [5]

Расчетная толщина обечайки:

$$s_{p1} := \max \left(\left(\frac{P_{рас1} \cdot D}{2 \cdot \phi \cdot \sigma_{д1} - P_{рас1}} \right), \left(\frac{P_{и1} \cdot D}{2 \cdot \phi \cdot \sigma_{д1} - P_{и1}} \right) \right) = 13.685 \text{ мм}$$

Исполнительная толщина стенки цилиндрической обечайки:

$$s_{и1} := s_{p1} + c = 14.685 \text{ мм}$$

Принимаем толщину обечайки:

$$s_1 := 16 \text{ мм}$$

Проверка условий применимости формул:

$$\text{Усл} := \begin{cases} \text{"Условия применения формул выполняются"} & \text{if } \frac{s_1 - c}{D} \leq 0.1 \\ \text{"Условия применения формул НЕ выполняются"} & \text{if } \frac{s_1 - c}{D} > 0.1 \end{cases}$$

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

Допускаемое внутреннее избыточное давление для оболочки рассчитывается по формуле:

$$P_{д1} := \frac{2 \cdot \sigma_{д1} \cdot \phi \cdot (s_1 - c)}{D + (s_1 - c)} = 3.602 \times 10^6 \text{ Па}$$

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

$$\text{Проверка}_{\text{прочн1}} := \begin{cases} \text{"Условие прочности выполняется"} & \text{if } P_{д1} \geq P_1 \\ \text{"Условие прочности НЕ выполняется"} & \text{if } P_{д1} < P_1 \end{cases}$$

$$\text{Проверка}_{\text{прочн1}} = \text{"Условие прочности выполняется"}$$

5.2.2. Расчетная и исполнительные толщины стенки эллиптического днища (крышки):

Радиус кривизны в вершине днища и крышки:

$$R_1 := \frac{D_d^2}{4 \cdot h} = 1.2 \times 10^3 \text{ мм}$$

Расчет толщины стенки днища под действием внутреннего избыточного давления:

$$s_{p2} := \max \left(\left(\frac{P_{рас2} \cdot R_1}{2 \cdot \phi \cdot \sigma_{д2} - 0.5 \cdot P_{рас2}} \right), \left(\frac{P_{и2} \cdot R_1}{2 \cdot \phi \cdot \sigma_{д2} - 0.5 \cdot P_{и2}} \right) \right) = 13.774 \text{ мм}$$

Исполнительная толщина стеки оболочки:

$$s_{и2} := s_{p2} + c = 14.774 \text{ мм}$$

Принимаем исполнительную толщину днища и крышки:

$$s_2 := 16 \text{ мм}$$

Проверка условий применимости формул:

$$\text{Проверка}_{\text{прочн2}} := \begin{cases} \text{"Условия применения формул выполняются"} & \text{if } \begin{cases} 0.002 \leq \frac{s_2 - c}{D_d} \leq 0.1 \\ 0.2 \leq \frac{h}{D_d} \leq 0.5 \end{cases} \\ \text{"Условия применения формул НЕ выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$\text{Проверка}_{\text{прочн2}} = \text{"Условия применения формул выполняются"}$

Допускаемое внутреннее избыточное давление для оболочки рассчитывается по формуле:

$$P_{d2} := \frac{2 \cdot \sigma_{d2} \cdot \phi \cdot (s_2 - c)}{R_1 + (s_2 - c)} = 3.58 \times 10^6 \text{ Па}$$

Проверка условия прочности стенок, эллиптического днища:

$$\text{Проверка}_{\text{прочн3}} := \begin{cases} \text{"Условие прочности выполняется"} & \text{if } P_{d2} > P_2 \\ \text{"Условие прочности НЕ выполняется"} & \text{if } P_{d2} < P_2 \end{cases}$$

$\text{Проверка}_{\text{прочн3}} = \text{"Условие прочности выполняется"}$

5.2.3. Расчетная и исполнительные толщины стенок цилиндрической распределительной камеры проводится согласно [5]

Расчетная толщина обечайки:

$$s_{p3} := \max \left(\left(\frac{P_{\text{рас1}} \cdot D}{2 \cdot \phi \cdot \sigma_{d1} - P_{\text{рас1}}} \right), \left(\frac{P_{\text{и1}} \cdot D}{2 \cdot \phi \cdot \sigma_{d1} - P_{\text{и1}}} \right) \right) = 13.685 \text{ мм}$$

Исполнительная толщина стенки цилиндрической обечайки:

$$s_{и3} := s_{p3} + c = 14.685 \text{ мм}$$

Принимаем толщину камеры:

$$s_3 := 16 \text{ мм}$$

Проверка условий применимости формул:

$$\text{Проверка}_{\text{прочн5}} := \begin{cases} \text{"Условия применения формул выполняются"} & \text{if } \frac{s_3 - c}{D} \leq 0.1 \\ \text{"Условия применения формул НЕ выполняются"} & \text{if } \frac{s_3 - c}{D} > 0.1 \end{cases}$$

$\text{Проверка}_{\text{прочн5}} = \text{"Условия применения формул выполняются"}$

Допускаемое внутреннее избыточное давление для оболочки рассчитывается по формуле:

$$P_{\text{д3}} := \frac{2 \cdot \sigma_{\text{д1}} \cdot \phi \cdot (s_3 - c)}{D + (s_3 - c)} = 3.602 \times 10^6 \text{ Па}$$

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

$$\text{Проверка}_{\text{прочн6}} := \begin{cases} \text{"Условие прочности выполняется"} & \text{if } P_{\text{д3}} \geq P_1 \\ \text{"Условие прочности НЕ выполняется"} & \text{if } P_{\text{д3}} < P_1 \end{cases}$$

$\text{Проверка}_{\text{прочн6}} = \text{"Условие прочности выполняется"}$

5.2.4. Выбор штуцеров и расчет их толщины

Расчет диаметров штуцеров был проведен в конструктивном расчете.

Подбираем стандартные штуцера согласно общим техническим требованиям АТК 24.218.06-90 и ГОСТ 12821-80.

Штуцера с приварными встык фланцами, с уплотнительной поверхностью типа выступ впадина.

Подбираем условный проход отверстия штуцера согласно

Гост 15122-79 (стр.7, табл.1)

Диаметр штуцера входа Термолайна-800:

$$D_{\text{ш1}} := 200 \text{ мм}$$

$$s_{\text{ш}} := 8 \text{ мм}$$

Диаметр штуцера выхода Термолайна-800:

$$D_{\text{ш2}} := 200 \text{ мм}$$

$$s_{\text{ш}} := 8 \text{ мм}$$

Диаметр штуцера входа пропанобутановой смеси:

$$D_{\text{вх}3} := 200 \text{ мм}$$

$$s := 8 \text{ мм}$$

Диаметр штуцера выхода пропанобутановой смеси:

$$D_{\text{вых}4} := 200 \text{ мм}$$

$$s := 8 \text{ мм}$$

Таблица 5. Штуцера приварные встык, основные характеристики

| Наимен. | D _у мм | D | D ₁ мм | D ₄ мм | D ₆ мм | b мм | d мм | n Ед. | l мм | H мм | d _н мм | S мм | P _у МПа |
|-------------------------------|----------------------|-----|----------------------|----------------------|----------------------|---------|---------|----------|---------|---------|----------------------|---------|-----------------------|
| Вход Термолайна- 800 | 200 | 375 | 320 | 259 | 260 | 35 | 30 | 12 | 120 | 210 | 219 | 8 | 4 |
| Выход Термолайна- 800 | 200 | 375 | 320 | 259 | 260 | 35 | 30 | 12 | 120 | 210 | 219 | 8 | 4 |
| Вход пропан-бут. смеси | 200 | 375 | 320 | 259 | 260 | 35 | 30 | 12 | 120 | 210 | 219 | 8 | 4 |
| Выход пропан-бут. смеси | 200 | 375 | 320 | 259 | 260 | 35 | 30 | 12 | 120 | 210 | 219 | 8 | 4 |

5.2.5. Расчет укрепления отверстия по [6]

Прибавка:

$$c := 0.00 \text{ м}$$

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

$$d_{01} := 2 \cdot \left(\frac{s_1 - c}{s_{p1}} - 0.8 \right) \cdot \sqrt{D \cdot (s_1 - c)} = 79.449 \text{ мм}$$

$$d_{02} := 2 \cdot \left(\frac{s_2 - c}{s_{p2}} - 0.8 \right) \cdot \sqrt{D_d \cdot (s_2 - c)} = 77.548 \text{ мм}$$

$$\text{Пров}_{\text{шт}} := \begin{cases} \text{"необходимо укрепления отверстия"} & \text{if } \begin{cases} d_{01} < D_{y1} \\ d_{01} < D_{y2} \\ d_{02} < D_{y3} \\ d_{02} < D_{y4} \end{cases} \\ \text{"укрепления отверстия не требуется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{Пров}_{\text{шт}} = \text{"необходимо укрепления отверстия"}$$

Расчет укрепления отверстия штуцера для входа Термолайна-800

Штуцера и кольца жесткости изготовлены из стали 12МХ

Допускаемое напряжения для материала патрубков при наихудших условиях:
(гидроиспытания)

$$\sigma_{Д1} := \sigma_{Д20}$$

Допускаемое напряжения для материала кольца жесткости при наихудших условиях:

(гидроиспытания)

$$\sigma_{Д2} := \sigma_{Д20}$$

Толщина стенки штуцера:

$$s_{\text{шт}1} := 8 \text{ мм}$$

Длина внутренней части штуцера:

$$l_3 := 20 \text{ мм}$$

Отношения допускаемых напряжений:

-для внешней части штуцера:

$$\chi_1 := \min\left(1, \frac{\sigma_{Д1}}{\sigma_{Д20}}\right) = 1$$

для накладного кольца:

$$\chi_2 := \min\left(1, \frac{\sigma_{Д2}}{\sigma_{Д20}}\right) = 1$$

для внутренней части штуцера:

$$\chi_3 := \min\left(1, \frac{\sigma_{D1}}{\sigma_{D20}}\right) = 1$$

Условный расчетный диаметр отверстия:

$$d_{y1} := D_{y1} + 2 \cdot s_1 \cdot (1 - \chi_1) = 200 \text{ мм}$$

Расчетный диаметр отверстия (ось штуцера совпадает с нормалью к поверхности в центре отверстия):

$$d_{p1} := d_{y1} + 2 \cdot c = 200.002 \text{ мм}$$

Длина патрубка:

$$l_1 := 120 \text{ мм}$$

Расчетная длина внешней части патрубка:

$$l_{1p} := \min\left[l_1, 1.25 \cdot \sqrt{(D_{y1} + 2 \cdot c) \cdot (s_{ш1} - c)}\right] = 47.004 \text{ мм}$$

Толщина внутренней части штуцера:

$$s_{ш3} := s_{ш1} = 8 \text{ мм}$$

Расчетная длина внутренней части штуцера:

$$l_{3p} := \min\left[l_3, 0.5 \cdot \sqrt{(D_{y1} + 2 \cdot c) \cdot (s_{ш3} - c - c)}\right] = 17.407 \text{ мм}$$

Расчетная длина накладного кольца:

$$l_{2p} := 100 \text{ мм}$$

Толщина накладного кольца:

$$s_{ш2} := 8 \text{ мм}$$

Ширина зоны укрепления в обечайке:

$$L_{01} := \sqrt{D \cdot (s_1 - c)} = 134.164 \text{ мм}$$

Расчетная ширина зоны укрепления в обечайке:

$$l_p := L_{01} = 134.164 \text{ мм}$$

Расчетный диаметр одиночного отверстия, не требующий дополнительного укрепления:

$$d_{0p} := 0.4 \cdot \sqrt{D \cdot (s_1 - c)} = 53.666 \text{ мм}$$

Укрепление отверстия накладным кольцом:

$$A_p := 0.5 \cdot (d_{y1} - d_{0p}) \cdot s_{ш1}$$

$$A_p = 585.337 \text{ мм}^2$$

$$\Phi_p := l_{1p} \cdot (s_1 - s_{p1} - c) \cdot \chi_1 + l_{3p} \cdot s_{ш2} \cdot \chi_3 + l_{2p} \cdot (s_1 - c - c) \cdot \chi_2 + l_p \cdot (s - s_{ш1} - c) = 1.848 \times 10^3$$

$$\text{Пров2} := \begin{cases} \text{"Условие укрепления отверстия выполняются"} & \text{if } \Phi_p \geq A_p \\ \text{"Условие укрепления отверстия НЕ выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Пров2 = "Условие укрепления отверстия выполняются"

Расчет укрепления отверстия с помощью накладного кольца при необходимости определения площади этого кольца:

Площадь накладного кольца:

$$A_2 := s_{ш2} \cdot l_{3p} = 139.255 \text{ мм}^2$$

$$\Phi_{2p} := \frac{1}{\chi_3} \cdot \left[0.5 \cdot (d_{p1} - d_{0p}) \cdot s_{ш1} - l_p \cdot (s - s_{ш1} - c) - l_{1p} \cdot (s_1 - s_{p1} - c) \cdot \chi_1 - l_{2p} \cdot (s_1 - c - c) \cdot \chi_2 \right]$$

$$\text{Пров3} := \begin{cases} \text{"Условие укрепления отверстия выполняются"} & \text{if } A_2 \geq \Phi_{2p} \\ \text{"Условие укрепления отверстия НЕ выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Пров3 = "Условие укрепления отверстия выполняются"

Коэффициент понижения прочности:

$$K_1 := 1$$

$$\phi_1 := \phi$$

$$V := \frac{1 + \frac{l_{1p} \cdot (s_{ш1} - c) \cdot \chi_1 + l_{2p} \cdot s_{ш2} \cdot \chi_2 + l_{3p} \cdot (s_{ш3} - 2 \cdot c) \cdot \chi_3}{l_p \cdot (s_1 - c)}}{1 + 0.5 \cdot \frac{d_{p1} - d_{0p}}{l_p} + K_1 \cdot \frac{D_{y1} + 2 \cdot c}{D} \cdot \frac{\phi}{\phi_1} \cdot \frac{l_{1p}}{l_p}} = 1.005$$

Находим допускаемое избыточное давление:

$$P_{дш1} := \frac{2 \cdot K_1 \cdot (s_1 - c) \cdot \phi \cdot \sigma_{Д1} \cdot V}{D + (s_1 - c) \cdot V} = 3.649 \times 10^6 \text{ Па}$$

Проверка условия прочности стенок, штуцера:

$$\text{Пров}_{шт2} := \begin{cases} \text{"Условие прочности выполняется"} & \text{if } P_{дш1} \geq P_1 \\ \text{"Условие прочности НЕ выполняется"} & \text{if } P_{дш1} < P_1 \end{cases}$$

Пров._{шт2} = "Условие прочности выполняется"

Поскольку штуцера для данного аппарата одинаковы, давление в межтрубном пространстве и в трубном тоже одинаково, то укрепление остальных отверстий будет аналогичным.

5.2.6. Расчет фланцевого соединения: согласно [12]

Исходные данные:

Расчетная температура:

$$t_p := t_{Tp} = 232 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Материал для болта: Сталь 12X18H12T

Материал для фланца: Сталь 12MX

Допускаемое напряжение материала при расчетной температуре для болта: согласно [1]

$$t_{\text{таб}} := \begin{pmatrix} 150 \\ 200 \end{pmatrix} ^\circ\text{C}$$

$$\sigma_{\text{таб}} := \begin{pmatrix} 168 \cdot 10^6 \\ 160 \cdot 10^6 \end{pmatrix} \text{Па}$$

$$\sigma_{\sigma} := \text{Floor}(\text{inter}(t_{\text{таб}}, \sigma_{\text{таб}}, t_p), 0.5) = 1.549 \times 10^8 \text{ Па}$$

допускаемое напряжение материала при температуре 20 градусов для болта:

$$\sigma_{\sigma 20} := 184 \cdot 10^6 \text{ Па}$$

Выберем плоскую неметаллическую прокладку паронит с условным давлением до 2.5 МПа и температура в интервале от -200 до 400 С.

Материал прокладки:

Паронит.

Толщина прокладки:

$$h_{\text{П}} := 2 \text{ мм}$$

Согласно таблице 6:

Диаметр болта (рекомендуемый):

$$d_{\sigma} := 24 \text{ мм}$$

Нормативный зазор между гайкой и обечайкой:

$u := 6 \text{ мм}$

Таблица 2 Вспомогательные величины для определения размеров фланца

| Диаметр болта d_b , мм | Диаметр отверстия под болт d , мм | Конструктивная добавка a , мм | | Нормативный параметр e , мм | |
|--------------------------|-------------------------------------|---------------------------------|---|-------------------------------|---|
| | | для гаек шестигранных (обычных) | для гаек шестигранных с уменьшенным размером под ключ | для плоских прокладок | для прокладок овального или восьмиугольного сечения |
| 20 | 23 | 40 | 36 | 30 | 50 |
| 22 | 25 | 42 | 40 | 32 | 52 |
| 24 | 27 | 47 | 42 | 34 | 57 |
| 27 | 30 | 52 | 47 | 37 | 60 |
| 30 | 33 | 58 | 52 | 41 | 64 |
| 36 | 40 | 60 | 63 | 48 | 71 |
| 42 | 46 | 80 | 69 | 55 | 78 |
| 48 | 52 | 92 | 80 | 61 | 84 |
| 52 | 58 | 97 | 86 | 65 | 88 |
| 56 | 60 | 110 | — | — | 195 |
| 60 | 66 | 115 | — | — | 240 |
| 64 | 70 | 120 | — | — | 240 |

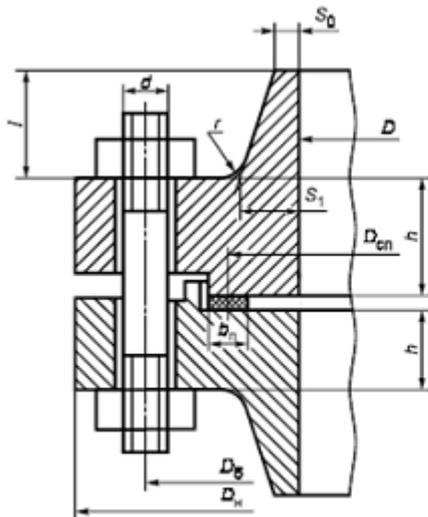


Рис 5.2.2 Фланцевые соединения с приварными в стык фланцами, с уплотнительной поверхностью типа выступ-впадина.

Расчет фланцевого соединения:

Расчет проводим согласно [12]:

Толщина цилиндрической части втулки принята:

$s_0 := 9 \text{ мм}$

$$s_3 := 9 \text{ мм}$$

Эффективная ширина прокладки:

-для плоских прокладок:

$$b_{\text{II}} := 15 \text{ мм}$$

при

$$b_{\text{II}} \leq 15$$

$$b_0 := b_{\text{II}} = 15 \text{ мм}$$

$$D := 1200 \text{ мм}$$

Расчетный диаметр болтовой окружности фланцев:

$$D_6 := D + 2 \cdot (2 \cdot s_3 + d_6 + u) = 1.296 \times 10^3 \text{ мм}$$

$$D_6 := 1385 \text{ мм}$$

конструктивная добавка для размещения гаек по диаметру фланца: согласно таблице 2

$$a := 47 \text{ мм}$$

Расчетный наружный диаметр фланцев:

$$D_{\text{H}} := D_6 + a = 1.432 \times 10^3 \text{ мм}$$

$$D_{\text{H}} := 1455 \text{ мм}$$

Наружный диаметр прокладки: смотри таблицу 2

$$e := 34 \text{ мм}$$

$$D_{\text{HP}} := D_6 - e = 1.351 \times 10^3 \text{ мм}$$

Средний диаметр прокладки:

$$D_{\text{СП}} := D_{\text{HP}} - b_0 = 1.336 \times 10^3 \text{ мм}$$

Удельное давление обжатия прокладки: [13, стр. 98, таб. 1 44]

$$q_{\text{обж}} := 20 \cdot 10^6 \text{ Па}$$

Усилие для смятия прокладки при затяжке:

$$P_{\text{обж}} := 0.5 \cdot \pi \cdot D_{\text{СП}} \cdot b_0 \cdot q_{\text{обж}} = 6.296 \times 10^{11} \text{ Па}$$

прокладочный коэффициент: смотри таблицу 3

$$k_{\text{пр}} := 2.5$$

Таблица 5.6 Характеристики плоских неметаллических прокладок

| Материал прокладки | Коэффициент $k_{\text{пр}}$ | Давление обжатия прокладки, МПа | | Модуль упругости E_{II} , МПа |
|---|-----------------------------|---------------------------------|-------------------------------|--|
| | | минимальное $p_{\text{пр}}$ | допускаемое $[p_{\text{пр}}]$ | |
| Резина с твердостью по прибору ТШР от 0,76 до 1,2 МПа | 0,5 | 2 | 18 | $3 [1 + b/(2h_{\text{II}})]$ |
| Резина с твердостью по прибору ТШР свыше 1,2 МПа | 1 | 3 | 20 | $4 [1 + b/(2h_{\text{II}})]$ |
| Картон асбестовый толщиной 3 мм | 2,5 | 20 | 130 | 2000 |
| Паронит толщиной ≥ 1 мм | 2,5 | 20 * | 130 | 2000 |
| Фторопласт-4 толщиной 1—3 мм | 2,5 | 10 | 40 | 2000 |

* Для сред с высокой проникающей способностью (водород, гелий, легкие нефтепродукты, сжиженные газы и т. п.) $p_{\text{пр}} = 35$ МПа.

Усилие для обеспечения герметичности фланцевого соединения:

$$R_{\text{II}} := \pi \cdot D_{\text{сII}} \cdot b_0 \cdot k_{\text{пр}} \cdot P_{\text{рас2}} = 4.111 \times 10^{11} \text{ Н}$$

шаг расположение болтов:

$$t_{\text{II}} := 3.8 \cdot d_{\text{б}} = 91.2 \text{ мм}$$

Количество болтов необходимых для обеспечения герметичности соединения:

$$n_{\text{б}} := \pi \cdot \frac{D_{\text{б}}}{t_{\text{II}}} = 47.709 \text{ болтов}$$

примем количество болтов (принимаем кратное четырем):

$$n_{\text{б}} := 46 \text{ болтов}$$

Расчетная площадь поперечного сечения болтов [13, стр. 98]:

$$f_{\text{б}} := 340 \text{ мм}^2$$

Суммарная площадь сечения болтов по внутреннему диаметру резьбы диаметра:

$$A_{\text{б}} := n_{\text{б}} \cdot f_{\text{б}} = 1.564 \times 10^4 \text{ мм}^2$$

Равнодействующая нагрузка от давления:

$$Q_d := 0.785 P_{\text{усл}2} \cdot D_{\text{сп}}^2 = 3.71 \times 10^{12} \text{ Н}$$

Плечи действий усилия в болтах:

-Для приварных встык фланцев:

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

Коэффициент β_1 определяем согласно рисунку 1.39 [5, стр. 95]:

$$\frac{D}{s_0} = 133.333$$

$$\beta_1 := 3$$

Толщина конической части втулки:

$$s_{1B} := \beta_1 \cdot s_0 = 27 \text{ мм}$$

Уклон втулки (принимаем):

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

прибавка к толщине

$$c := 1 \text{ мм}$$

Высота втулки:

$$h_B := 0.5 \cdot \sqrt{D \cdot (s_0 - c)} = 48.99 \text{ мм}$$

Эквивалентная толщина втулки фланца:

$$s_{\text{ЭК}} := s_0 \cdot \left[1 + \frac{h_B \cdot (\beta_1 - 1)}{h_B + 0.25 \cdot (\beta_1 + 1) \cdot \sqrt{D \cdot s_0}} \right] = 14.767 \text{ мм}$$

Высота фланца:

$$\lambda_{\text{Ф}} := 0.32$$

для фланцев приварных встык при условном давлении.

$$\lambda_{\text{Ф}} \cdot \sqrt{D \cdot s_{\text{ЭК}}} = 42.597 \text{ м}$$

Принятая конструктивно высота фланца:

$$h_{\text{Ф}} := 45 \text{ м}$$

$$U_{\text{сл}1} := \begin{cases} \text{"Условия выполняются"} & \text{if } h_{\text{Ф}} \geq \lambda_{\text{Ф}} \cdot \sqrt{D \cdot s_{\text{ЭК}}} \\ \text{"Условия не выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Усл₁ = "Условия выполняются"

Плечо усилий от давления на фланец :

$$e := 0.5 \cdot (D_{сП} - D - s_{ЭК}) = 60.617 \text{ м}$$

По [12, приложение И] для паронитовой прокладки:

коэффициент обжатия прокладки:

$$K_{обж} := 0.9$$

модуль продольной упругости:

$$E_{П} := 2 \cdot 10^9 \text{ Па}$$

толщина прокладки:

$$h_{П} := 2 \text{ мм}$$

Податливость прокладки:

$$y_{П} := \frac{h_{П} \cdot K_{обж}}{E_{П} \cdot \pi \cdot D_{сП} \cdot b_{П}} = 1.43 \times 10^{-14}$$

Расстояние между опорными поверхностями гаек:

$$l_{ГО} := 2 \cdot (h_{Ф} + h_{П}) = 94 \text{ мм}$$

Эффективная длина болта:

$$l_{\zeta} := l_{ГО} + 0.28 \cdot d_{\zeta} = 100.72 \text{ мм}$$

Модуль упругости при температуре 20 градусов:

-Для болта из стали :

$$E_{\zeta 20} := 2 \cdot 10^{11} \text{ Па}$$

$$y_{\zeta} := \frac{l_{\zeta}}{E_{\zeta 20} \cdot f_{\zeta} \cdot n_{\zeta}} = 3.22 \times 10^{-14}$$

Параметр длины обечайки:

$$l_0 := \sqrt{D \cdot s_0} = 103.923 \text{ мм}$$

Отношение наружного диаметра тарелки фланца к внутреннему диаметру:

$$K := \frac{D_{НП}}{D} = 1.126$$

$$\beta_T := \frac{K^2 \cdot (1 + 8.55 \cdot 0.43429 \ln(K)) - 1}{(1.05 + 1.945 K^2) \cdot (K - 1)} = 1.866$$

$$\beta_U := \frac{K^2 \cdot (1 + 8.55 \cdot 0.43429 \ln(K)) - 1}{1.36 (K^2 - 1) \cdot (K - 1)} = 18.029$$

$$\beta_Y := \frac{1}{K - 1} \left[0.69 + 5.72 \cdot \frac{K^2 \cdot (0.43429 \ln(K))}{K^2 - 1} \right] = 16.57$$

$$\beta_Z := \frac{(K^2 + 1)}{(K^2 - 1)} = 8.477$$

$$\frac{s_{1B}}{s_0} = 3$$

$$\frac{h_B}{l_0} = 0.471$$

по рисунку 13, 14 определяем:

$$\beta_F := 0.835$$

$$\beta_V := 0.17$$

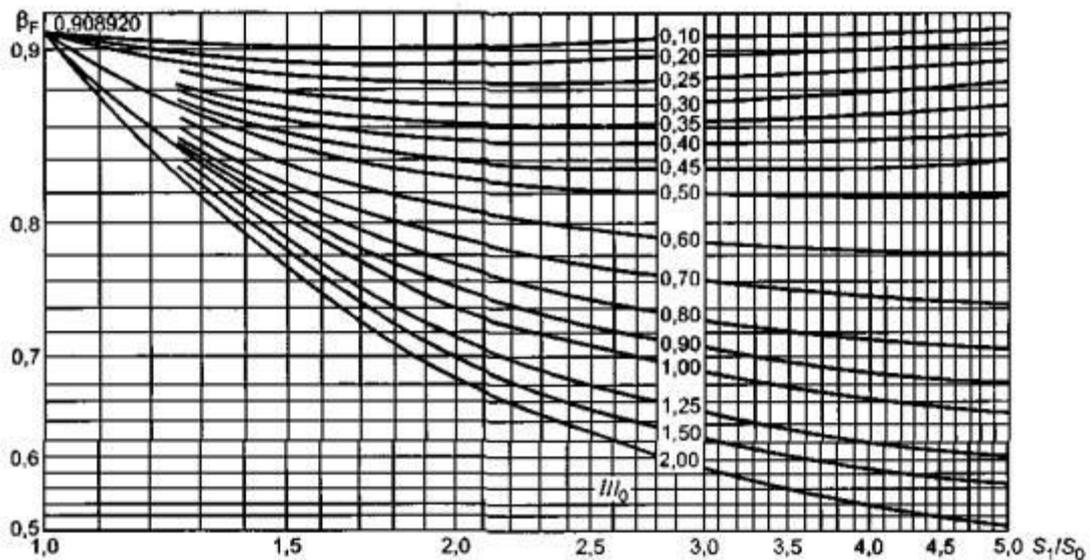


Рис. 5.2.3 Коэффициент β_F

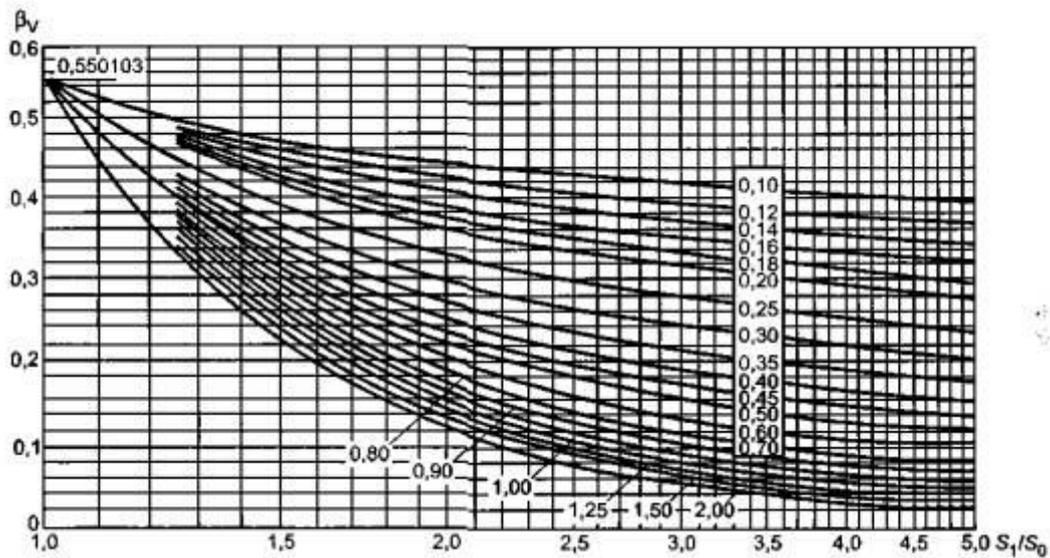


Рис. 5.2.4 Коэффициент β_v

Вычислим коэффициент :

$$\lambda := \frac{\beta_F \cdot h_\Phi + l_0}{\beta_T \cdot l_0} + \frac{\beta_v \cdot h_\Phi^3}{\beta_U \cdot l_0 \cdot s_0^2} = 0.832$$

Модуль упругости материала фланца при температуре 20 градусов:

$$E_{20} := 2 \cdot 10^{11} \text{ Па}$$

Модуль упругости материала фланца при рабочей температуре:

$$E := 2 \cdot 10^{11} \text{ Па}$$

Модуль упругости материала болта при температуре 20 градусов:

$$E_\sigma := 2 \cdot 10^{11} \text{ Па}$$

Угловая податливость фланца при затяжке:

$$y_\Phi := \frac{0.91 \cdot \beta_v}{\lambda \cdot s_0^2 \cdot l_0 \cdot E_{20}} = 0$$

Жесткость фланцевого соединения:

$$\gamma := \frac{1}{y_\Pi + y_\sigma \cdot \frac{E_{\sigma 20}}{E_\sigma} + 2 \cdot b^2 y_\Phi \cdot \frac{E_{20}}{E}} = 5.583 \times 10^{12}$$

Усилие, возникающие от температурных деформаций

Температурный коэффициент линейного расширения материала фланцев (12МХ)

$$\alpha_{\phi 1} := 128 \cdot 10^{-6}$$

$$\alpha_{\phi 2} := 128 \cdot 10^{-6}$$

$$\alpha_{\phi} := 128 \cdot 10^{-6}$$

БОЛТОВ

$$\alpha_2 := 17.35 \cdot 10^{-6}$$

Расчетная температура неизолированных фланцев:

$$t_{\phi 1} := 0.96 \cdot t_p = 222.72 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$t_{\phi 2} := 0.96 \cdot t_p = 222.72 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Расчетная температура болтов:

$$t_b := 0.95 \cdot t_p = 220.4 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Усилия возникающие от температурных деформаций:

$$Q_t := \gamma \cdot [\alpha_{\phi 1} \cdot h_{\phi} \cdot (t_{\phi 1} - 20) + \alpha_{\phi 2} \cdot h_{\phi} \cdot (t_{\phi 2} - 20) - \alpha_2 \cdot (h_{\phi} - h_b) \cdot (t_b - 20)] = 1.304 \times 10^{12} \text{ Н}$$

Коэффициент жесткости фланцевого соединения нагруженного внутренним давлением:

$$\alpha := 1 - \frac{y_{\Pi} - 2 \cdot y_{\phi} \cdot e \cdot b}{y_{\Pi} + y_b + 2 \cdot e \cdot y_{\phi} \cdot b} = 1.838$$

Угловая податливость фланца:

Податливость фланца:

$$\lambda_{\phi} := \frac{h_{\phi}}{\sqrt{D \cdot s_{\text{н1}}}} = 0.339$$

$$\psi_2 := \frac{(D_{\text{н}} + D)}{(D_{\text{н}} - D)} = 10.412$$

$$\psi_1 := 1.28 \cdot 0.43 \cdot \ln\left(\frac{D_{\text{н}}}{D}\right) = 0.106$$

$$\nu := \frac{1}{1 + 0.9 \cdot \lambda_{\phi} \cdot \left(1 + \psi_1 \cdot \frac{h_{\phi}^2}{s_1^2} \right)} = 0.654$$

$$E := 2 \cdot 10^{11} \text{ Па}$$

Для фланца

$$y_{\phi H} := [1 - \nu \cdot (1 + 0.9 \cdot \lambda_{\phi})] \cdot \frac{\psi_2}{h_{\phi}^3 \cdot E}$$

$$y_{\phi} = 0$$

$$\alpha_M := y_{\phi} + 2 \cdot y_{\phi H} \cdot b \cdot \left(b + e - \frac{e^2}{D_{\text{СП}}} \right) = 3.706 \times 10^{-13}$$

Коэффициент жесткости фланцевого соединения:

$$k_{\text{Ж}} := \frac{y_{\phi} + 0.5 \cdot y_{\phi H} \cdot (D_{\phi} - D_{\text{д}} - s_{\text{ЭК}}) \cdot (D_{\phi} - D_{\text{СП}})}{y_{\text{П}} + y_{\phi} + 0.5 \cdot y_{\phi H} \cdot (D_{\phi} - D_{\text{СП}})^2} = 2.132$$

Нагрузка действующая на фланец:

$$F := P_{\text{УСЛ2}} \cdot \pi \cdot \frac{D_{\text{СП}}^2}{4} = 3.712 \times 10^{12} \text{ Н}$$

Болтовая нагрузка в условиях монтажа:

Давления для прокладки

$$P_{\text{ПР}} := 20 \cdot 10^6 \text{ Па}$$

Усилия возникающие от температурных деформаций:

$$F_t := \frac{y_{\phi} \cdot n_{\phi} \cdot f_{\phi} \cdot E_{\phi} \cdot (\alpha_{\phi} \cdot t_{\phi 1} - \alpha_2 \cdot t_{\phi})}{y_{\text{П}} + y_{\phi} + 0.5 \cdot y_{\phi H} \cdot (D_{\phi} - D_{\text{СП}})^2} = -6.66 \times 10^{11}$$

$$F_{\phi 1} := \max(k_{\text{Ж}} \cdot F + R_{\text{П}}, 0.5 \cdot \pi \cdot D_{\text{СП}} \cdot b_0 \cdot P_{\text{ПР}}) = 8.326 \times 10^{12} \text{ Н}$$

Болтовая нагрузка в рабочих условиях:

$$F_{\phi 2} := F_{\phi 1} + (1 - k_{\text{Ж}}) \cdot F + F_t = 3.457 \times 10^{12} \text{ Н}$$

Допускаемое напряжения материала фланца

$$\sigma_{\text{дф20}} := \sigma_{\text{Д20}} = 1.47 \times 10^8 \text{ Па}$$

$$\sigma_{дф} := \sigma_{д2} = 1.45 \times 10^8 \text{ Па}$$

Приведенный изгибающий момент:

$$M_0 := \max \left[0.5 \cdot (D_{\sigma} - D_{сп}) \cdot F_{\sigma 1}, 0.5 \cdot (D_{\sigma} - D_{сп}) \cdot F_{\sigma 2} + (D_{сп} - D - s_{ил}) \cdot F \cdot \frac{\sigma_{дф20}}{\sigma_{дф}} \right] = 5.412 \times 10^{14}$$

$$M_0 = 5.412 \times 10^{14} \text{ Нм}$$

Проверка прочности:

Условия прочности болтов:

$$\text{Усл}_{\text{проч1}} := \begin{cases} \text{"Условия выполняются"} & \text{if } \begin{cases} \frac{F_{\sigma 1}}{n_{\sigma} \cdot f_{\sigma}} < \sigma_{\sigma 20} \\ \frac{F_{\sigma 2}}{(n_{\sigma} \cdot f_{\sigma})} < \sigma_{\sigma} \end{cases} \\ \text{"Условия не выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{Усл}_{\text{проч1}} = \text{"Условия не выполняются"}$$

Условие прочности прокладки:

$$F_{\sigma \text{max}} := \max(F_{\sigma 1}, F_{\sigma 2}) = 8.326 \times 10^{12} \text{ Н}$$

$$\text{Усл}_{\text{проч2}} := \begin{cases} \text{"Условия выполняются"} & \text{if } \frac{F_{\sigma \text{max}}}{\pi \cdot b \cdot D_{сп}} < P_{\text{пр}} \\ \text{"Условия не выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{Усл}_{\text{проч2}} = \text{"Условия не выполняются"}$$

Окружное напряжение в кольце фланца:

$$\sigma_{\text{к}} := M_0 \cdot [1 - \nu \cdot (1 + 0.9 \cdot \lambda_{\text{ф}})] \cdot \frac{\psi^2}{D \cdot h_{\text{ф}}^2} = 3.404 \times 10^8 \text{ Н}$$

Условие герметичности фланцевого соединения:

$$\theta := \frac{\sigma_{\text{к}}}{E} \cdot \left(\frac{D}{h_{\text{ф}}} \right) = 0.045 \text{ рад}$$

Допускаемый угол поворота приварных встык фланцев:

$$K_{\ominus} := 1.3$$

$$\ominus_{\text{доп}} := 0.006$$

$$H := K_{\Theta} \cdot \Theta_{\text{доп}} = 7.8 \times 10^{-3}$$

$$\text{Усл5} := \begin{cases} \text{"Условия выполняются"} & \text{if } \theta < H \\ \text{"Условия не выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Усл5 = "Условия не выполняются"

Подбор стандартных фланцев: согласно [4]

Внутренний диаметр аппарата:

$$D = 1.2 \times 10^3 \text{ мм}$$

Наружный диаметр фланца:

$$D_{\text{нф}} := 1455 \text{ мм}$$

Наружный диаметр прокладки:

$$D_{\text{нп}} := 1287 \text{ мм}$$

Диаметр болтовой окружности фланцев:

$$D_{\text{б}} := 1385 \text{ мм}$$

Высота фланца:

$$h_{\text{ф}} := 45 \text{ мм}$$

5.2.7. Расчет элементов кожухотрубного аппарата с неподвижной решеткой

Расчет проводится согласно [14]

Вспомогательные величины:

Толщины трубных решеток теплообменных аппаратов с неподвижными трубными решетками, назначаются конструктивно с последующей проверкой по формулам настоящего раздела стандарта.

Относительная характеристика беструбного края трубной решетки:

Внутренний радиус кожуха:

$$a := 600 \text{ мм}$$

Расстояние от оси кожуха до оси наиболее удаленной трубы:

$$a_1 := 575 \text{ мм}$$

Число труб, согласно технологическому расчету:

$$\underline{i} := 102 \text{ шт}$$

$$m_n := \frac{a}{a_1} = 1.043$$

Наружный диаметр трубы в трубной решетке:

$$d_T := 25 \text{ мм}$$

Толщина стенки трубы:

$$s_T := 2 \text{ мм}$$

Шаг расположения труб:

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

Коэффициент прочности решетки:

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

Толщина трубной решетки:

$$s_p := \frac{D}{4.7} \cdot \sqrt{\frac{P_2}{\sigma_{Д2} \cdot \phi_p}} + c = 66.792 \text{ мм}$$

Принимаем толщину трубной решетки:

$$\underline{s_p} := 70 \text{ мм}$$

Коэффициенты влияния давления на трубную решетку вычисляются по формулам:

- со стороны межтрубного пространства:

$$\eta_M := 1 - \frac{i \cdot d_T^2}{4 \cdot a_1^2} = 0.514 \quad [14, \text{с.9}]$$

- со стороны трубного пространства:

$$\eta_T := 1 - \frac{i \cdot (d_T - 2 \cdot s_T)^2}{4 \cdot a_1^2} = 0.657 \quad [14, \text{с.10}]$$

l - половина длины трубы теплообменного аппарата или аппарата воздушного охлаждения

$$l_k := 2000 \text{ мм}$$

Материал для труб: Сталь 09Г2С.

E_k - модуль продольной упругости материала кожуха:

$$E_k := 2 \cdot 10^{11} \text{ Па}$$

E_T - модуль продольной упругости материала труб:

$$E_T := 2 \cdot 10^{11} \text{ Па}$$

s_k - толщина стенки кожуха:

$$s_k := 16 \text{ мм}$$

Основные характеристики жесткости элементов теплообменного аппарата.

Модуль упругости основания (системы труб) вычисляют по формуле

$$K_y := \frac{E_T \cdot (\eta_T - \eta_M)}{l} = 1.43 \times 10^7 \text{ Па}$$

Приведенное отношение жесткости труб к жесткости кожуха вычисляют по формуле

$$\rho := \frac{K_y \cdot a_1 \cdot l}{E_k \cdot s_k} = 5.14$$

Коэффициенты изменения жесткости системы трубы — кожух вычисляют по формулам:

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

Для аппаратов с не подвижной трубной решеткой:

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

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

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 системы решетка — трубы вычисляют по формуле

E_p - модуль продольной упругости материала решетки Сталь 09Г2С:

$$E_p := 2 \cdot 10^{11} \text{ Па}$$

s_p - толщина трубной решетки, мм;

$$s_p := 70 \text{ мм}$$

ψ_0 - коэффициент жесткости перфорированной плиты;

$$\psi_0 := 0.13$$

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

Безразмерный параметр системы решетка — трубы вычисляют по формуле

$$\omega := \beta \cdot a_1 = 6.623$$

Определение усилий в элементах теплообменного аппарата

t_k - средняя температура стенки кожуха, °С;

$$t_k := 191$$

t_t - средняя температура стенок труб, °С;

$$t_t := 209$$

α_k - коэффициент линейного расширения материала кожуха при температуре t_k , 1/°С; (сталь 12МХ)

$$\alpha_k := 11.2 \cdot 10^{-6}$$

α_t - коэффициент линейного расширения материала труб при температуре t_t 1/°С; (сталь 12МХ)

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

Температура сборки аппарата:

$$t_0 := 20 \text{ }^\circ\text{C}$$

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

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

- расчетное давление в межтрубном пространстве,

$$P_{\text{рас1}} = 2.612 \times 10^6 \text{ Па}$$

- расчетное давление в трубном пространстве

$$P_{\text{рас2}} = 2.612 \times 10^6 \text{ Па}$$

R_1 - радиус центра тяжести тарелки фланца кожуха, мм;

$$R_1 := \frac{D_H - D}{4} + \frac{D}{2} = 663.75 \text{ мм}$$

$m_{\text{ср}}$ — коэффициент влияния давления на продольную деформацию труб:

$$m_{\text{ср}} := 0.15 \cdot \frac{i \cdot (d_T - 2 \cdot s_T)^2}{4 \cdot a_1^2} = 0.051$$

Приведенное давление p_0 вычисляют по формуле:

$$A_1 := [\alpha_K \cdot (t_K - t_0) - \alpha_T \cdot (t_T - t_0)] \cdot K_Y \cdot l$$

$$A_2 := [\eta_T - 1 + m_{\text{ср}} + m_n \cdot (m_n + 0.5\rho \cdot K_q)] \cdot P_{\text{и2}}$$

$$A_3 := [\eta_M - 1 + m_{\text{ср}} + m_n \cdot (m_n + 0.3\rho \cdot K_p)] \cdot P_{\text{и1}}$$

$$p_0 := A_1 + A_2 - A_3 = -3.86 \times 10^6 \text{ Па}$$

Приведенное отношение жесткости труб к жесткости фланцевого соединения

вычисляют по формуле

$$\rho_1 := \frac{K_Y \cdot a \cdot a_1}{\beta^2 \cdot K_\phi \cdot R_1} = 5.604 \times 10^{13} \text{ Па}$$

Коэффициенты, учитывающие влияние беструбного края и поддерживающие влияние труб Φ_1 , Φ_2 , Φ_3 определяют по таблице 2.

Таблица 5.7 — Коэффициенты 1, 2, 3

| | | | | | | | | |
|----------|---|------|------|------|------|------|------|------|
| ω | 0 | 0,5 | 1,0 | 1,5 | 2,0 | 2,5 | 3,0 | 3,5 |
| Φ_1 | 2 | 2,0 | 2,06 | 2,28 | 2,79 | 3,58 | 4,5 | 5,39 |
| Φ_2 | 0 | 0,02 | 0,19 | 0,62 | 1,32 | 2,16 | 2,94 | 3,59 |
| Φ_3 | 0 | 0,19 | 0,76 | 1,65 | 2,75 | 3,76 | 4,65 | 5,36 |

| | | | | | | | | |
|----------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|------------------|
| ω | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | > 10 |
| Φ_1 | 6,19 | 7,65 | 9,08 | 10,51 | 11,94 | 13,36 | 14,78 | $\sqrt{2\omega}$ |
| Φ_2 | 4,13 | 5,13 | 6,15 | 7,17 | 8,19 | 9,2 | 10,21 | \emptyset |
| Φ_3 | 6,03 | 7,36 | 8,81 | 10,24 | 11,66 | 13,08 | 14,5 | $\sqrt{2\omega}$ |

безразмерный параметр системы решетка - трубы.

$$\omega = 6.623$$

$$\Phi_1 := 10.42$$

$$\Phi_2 := 6.91$$

$$\Phi_3 := 9.98$$

Значения T_1, T_2, T_3 вычисляют по формулам:

$$t_1 := 1 + 1.4\omega \cdot (m_n - 1) = 1.403$$

$$T_1 := \Phi_1 \cdot [m_n + 0.5(1 + m_n \cdot t_1) \cdot (t_1 - 1)] = 16.048$$

$$T_2 := \Phi_2 \cdot t_1 = 9.696$$

$$T_3 := \Phi_3 \cdot m_n = 10.414$$

Изгибающий момент и перерезывающую силу, распределенные по краю трубной решетки, вычисляют по формулам:- для изгибающего момента:

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

$$s_{1k} := 16 \text{ мм}$$

$$s_{2k} := 16 \text{ мм}$$

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

$$\beta_{1k} := \frac{1.3}{\sqrt{s_{1k} \cdot a}} = 0.013 \frac{1}{\text{мм}}$$

β_2 - коэффициент системы обечайка - фланец камеры, 1/мм;

$$\beta_2 := \frac{1.3}{\sqrt{s_{2k} \cdot a}} = 0.013 \frac{1}{\text{мм}}$$

h_1 - толщина тарелки фланца кожуха, мм;

$$h_1 := 70 \text{ мм}$$

m_1 - коэффициент влияния давления на изгиб фланца:

$$m_1 := \frac{1 + \beta_1 \cdot h_1}{\beta_1^2} = 1.096 \times 10^4$$

m_2 - коэффициент влияния давления на изгиб 2-го фланца:

$$m_2 := \frac{1 + \beta_2 \cdot h_1}{\beta_2^2} = 1.096 \times 10^4$$

p_1 - приведенное давление на фланцы

$$p_1 := \frac{K_y}{\beta \cdot K_\phi} \cdot (m_1 \cdot P_{и1} - m_2 \cdot P_{и2}) = -2.716 \times 10^{17} \text{ Па}$$

$$P := P_2 = 3.31 \times 10^6 \text{ Па}$$

$$M_{\Pi} := \left(\frac{a_1}{\beta} \right) \cdot \frac{p_1 \cdot (T_1 + \rho \cdot K_q) - p_0 \cdot T_2}{(T_1 + \rho \cdot K_q) \cdot (T_3 + \rho_1) - T_2^2} = -2.42 \times 10^8 \text{ Н} \cdot \text{мм}$$

- для перерезывающей силы:

$$Q_{\Pi} := a_1 \cdot \frac{p_0 \cdot (T_3 + \rho_1) - p_1 \cdot T_2}{(T_1 + \rho \cdot K_q) \cdot (T_3 + \rho_1) - T_2^2} = -1.035 \times 10^8 \text{ Н}$$

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

- для изгибающего момента:

$$M_a := M_{\Pi} + (a - a_1) \cdot Q_{\Pi} = -2.829 \times 10^9 \text{ Н} \cdot \text{мм}$$

- для перерезывающей силы:

$$Q_a := m_n \cdot Q_{\Pi} = -1.08 \times 10^8 \text{ Н}$$

Осевую силу и изгибающий момент, действующие на трубу, вычисляют по формулам:- для осевой силы:

$$N_T := \frac{\pi \cdot a_1}{i} \cdot \left[(\eta_M \cdot P_1 - \eta_T \cdot P_2) \cdot a_1 + \Phi_1 \cdot Q_a + \Phi_2 \cdot \beta \cdot M_a \right] = -2.862 \times 10^9 \text{ Н}$$

- для изгибающего момента:

Внутренний диаметр трубы:

$$d_B := d_T - 2 \cdot s_T = 21 \text{ мм}$$

J_T - момент инерции поперечного сечения трубы, мм⁴;

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

приведенная длина трубы, используемая при расчете прогиба труб и изгибающего

момента, действующего на трубу, мм;

$l_{пр}$ — вычисляют по формулам, приведенным в 5.2.7.4.

$$l_{пр} := l = 2 \times 10^3 \text{ мм}$$

$$M_T := \frac{E_T \cdot J_T \cdot \beta}{K_y \cdot a_1 \cdot l_{пр}} \cdot (\Phi_2 \cdot Q_a + \Phi_3 \cdot \beta \cdot M_a) = -1.445 \times 10^9$$

Усилия в кожухе вычисляют по формулам:

- усилие, распределенное по периметру кожуха:

$$Q_K := \frac{a}{2} \cdot P_{и2} - Q_{п} = 1.096 \times 10^9 \text{ Н}$$

- изгибающий момент, распределенный по периметру кожуха:

$$K_1 := 1$$

$$M_K := \frac{K_1}{\rho \cdot K_{\phi} \cdot \beta} \cdot (T_2 \cdot Q_{п} + T_3 \cdot \beta \cdot M_{п}) - \frac{P_{и1}}{2 \cdot \beta_1} = -2.678 \times 10^{10} \text{ Н} \cdot \text{мм}$$

- суммарная осевая сила, действующая на кожух:

$$F_{\text{ww}} := \pi \cdot D \cdot Q_K = 4.133 \times 10^{12} \text{ Н}$$

Расчетные напряжения в элементах конструкции

D_n - наружный диаметр фланца, м;

$$D_H = 1.455 \times 10^3 \text{ мм}$$

s_p - толщина трубной решетки, м;

$$s_p = 70 \text{ мм}$$

$$s_{1p} := s_p = 70 \text{ мм}$$

b_1 - ширина тарелки фланца кожуха, м;

$$b_1 := \frac{D_H - D}{2} = 127.5 \text{ мм}$$

R_1 - радиус центра тяжести тарелки фланца кожуха, м;

$$R_1 := \frac{D_H - D}{4} = 63.75 \text{ мм}$$

Расчетные напряжения в трубных решетках.

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

- изгибные:

$$\sigma_{p1} := \frac{6 \cdot |M_{II}|}{(s_{1p} - c)^2} = 3.05 \times 10^5 \text{ Па}$$

- касательные:

$$\tau_{1p} := \frac{|Q_{II}|}{s_{1p} - c} = 1.5 \times 10^6 \text{ Па}$$

Таблица 5.8

Таблица Г.3 — Коэффициент В

| n_B | ω | | | | | | | |
|-------|----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----------|
| | 0,5 | 1,0 | 1,5 | 2,0 | 3,0 | 4,0 | 5,0 | ≥ 10 |
| 1,0 | 0,843 | 0,972 | 1,041 | 0,991 | 0,964 | 1,029 | 1,071 | 1,117 |
| 0,9 | 0,829 | 0,943 | 1,000 | 0,949 | 0,940 | 1,000 | 1,040 | 1,083 |
| 0,8 | 0,815 | 0,914 | 0,960 | 0,908 | 0,910 | 0,971 | 1,009 | 1,051 |
| 0,7 | 0,800 | 0,886 | 0,920 | 0,871 | 0,884 | 0,944 | 0,979 | 1,020 |
| 0,6 | 0,786 | 0,858 | 0,880 | 0,836 | 0,860 | 0,918 | 0,951 | 0,990 |
| 0,5 | 0,771 | 0,829 | 0,840 | 0,804 | 0,839 | 0,894 | 0,925 | 0,963 |
| 0,4 | 0,757 | 0,801 | 0,799 | 0,777 | 0,819 | 0,871 | 0,900 | 0,938 |
| 0,3 | 0,742 | 0,773 | 0,761 | 0,754 | 0,802 | 0,852 | 0,878 | 0,915 |
| 0,2 | 0,728 | 0,744 | 0,732 | 0,737 | 0,789 | 0,835 | 0,860 | 0,896 |
| 0,1 | 0,714 | 0,716 | 0,714 | 0,727 | 0,780 | 0,823 | 0,846 | 0,882 |
| 0 | 0,700 | 0,702 | 0,709 | 0,725 | 0,776 | 0,816 | 0,837 | 0,874 |
| -0,1 | 0,703 | 0,707 | 0,716 | 0,732 | 0,778 | 0,815 | 0,835 | 0,873 |
| -0,2 | 0,705 | 0,712 | 0,723 | 0,741 | 0,787 | 0,821 | 0,841 | 0,876 |
| -0,3 | 0,708 | 0,717 | 0,730 | 0,750 | 0,796 | 0,828 | 0,846 | 0,879 |
| -0,4 | 0,711 | 0,722 | 0,738 | 0,759 | 0,805 | 0,835 | 0,852 | 0,882 |
| -0,5 | 0,713 | 0,728 | 0,745 | 0,768 | 0,814 | 0,842 | 0,857 | 0,884 |
| -0,6 | 0,716 | 0,733 | 0,753 | 0,777 | 0,823 | 0,850 | 0,863 | 0,887 |
| -0,7 | 0,718 | 0,738 | 0,760 | 0,786 | 0,832 | 0,857 | 0,869 | 0,890 |
| -0,8 | 0,721 | 0,743 | 0,768 | 0,795 | 0,841 | 0,864 | 0,874 | 0,893 |
| -0,9 | 0,723 | 0,748 | 0,775 | 0,804 | 0,849 | 0,871 | 0,880 | 0,895 |
| -1,0 | 0,726 | 0,754 | 0,783 | 0,813 | 0,858 | 0,878 | 0,885 | 0,898 |

В - коэффициент, определяемый по приложению Г, в зависимости от ω и n_B :

$$B := 1.09;$$

$$\omega = 6.623$$

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

$$n_B := \frac{Q_a}{\beta \cdot M_a} = 3.314$$

$$m_A := \frac{\beta \cdot M_a}{Q_a} = 0.302$$

где А - коэффициент, определяемый по приложению Г [ГОСТ Р 52857.7-2007] в зависимости от

ω и m_A :

$$A := 0.609;$$

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

$$M_{\max} := \begin{cases} A \cdot \frac{|Q_a|}{\beta} & \text{if } \begin{cases} m_A \leq 1 \\ -1 \leq m_A \end{cases} \\ B \cdot |M_a| & \text{if } \begin{cases} m_A < -1 \\ m_A > 1 \end{cases} \end{cases}$$

$$M_{\max} = 5.715 \times 10^9 \text{ Н}\cdot\text{м}$$

Напряжения в перфорированной части трубной решетки вычисляются по формулам:

- изгибные:

$$\sigma_{p2} := \frac{6 \cdot M_{\max}}{\phi \cdot (s_{1p} - c)^2} = 7.202 \times 10^6 \text{ Па}$$

- касательные:

$$\tau_{2p} := \frac{|Q_a|}{\phi \cdot (s_{1p} - c)} = 1.565 \times 10^6 \text{ Па}$$

Напряжения в кожухе в месте присоединения к решётке

в меридиональном направлении:

мембранные:

$$\sigma_{Mx} := \frac{|Q_k|}{(s_{1k} - c)} = 7.309 \times 10^7 \text{ Па}$$

изгибные:

$$\sigma_{ux} := \frac{6 \cdot |M_k|}{(s_{1k} - c)^2} = 7.142 \times 10^8 \text{ Па}$$

в окружном направлении:

мембранные:

$$\sigma_{M\phi} := \frac{P_{ил} \cdot a}{(s_{1k} - c)} = 1.316 \times 10^8 \text{ Па}$$

изгибные:

$$\sigma_{u\phi} := 0.3 \cdot \sigma_{ux} = 2.143 \times 10^8 \text{ Па}$$

в окружном направлении:

$$\sigma_{2T} := \frac{(d_T - s_T) \max(|P_{и2}|, |P_{и1}|, |P_{и2} - P_{и1}|)}{2 \cdot s_T} = 1.903 \times 10^7 \text{ Па}$$

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

$$\sigma_{др} := \sigma_{д1} = 1.459 \times 10^8 \text{ Па}$$

Проверка прочности трубных решёток

Проверка статической прочности

$$\text{Пров1} := \begin{cases} \text{"Условие прочности выполняется"} & \text{if } \max(\tau_{1p}, \tau_{2p}) \leq 0.8 \cdot \sigma_{др} \\ \text{"Условие прочности НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{Пров1} = \text{"Условие прочности выполняется"}$$

Проверку трубной решётки на малоцикловую прочность проводят по ГОСТ Р 52857.6.

В случае, если в расчёте должна учитываться ползучесть материала, допускается проводить проверку на малоцикловую прочность по приложению Д. [ГОСТ Р 52857.7-2007]

При проверке трубной решётки на малоцикловую прочность следует принимать:

в месте соединения с кожухом:

$$\Delta\sigma_1 := \sigma_{p1}$$

$$\Delta\sigma_2 := 0$$

$$\Delta\sigma_3 := \Delta\sigma_2$$

K_σ определяют по рисункам 7-10

в перфорированной части:

$$\Delta\sigma_{1v} := \sigma_{p1}$$

$$\Delta\sigma_{2v} := 0$$

$$\Delta\sigma_{3v} := \Delta\sigma_2$$

$$K_\sigma := 1.7$$

Для многоходовых по трубному пространству теплообменных аппаратов прочность трубных решёток в зоне паза под перегородку проверяют по формулам, приведенным в 5.6.

При этом следует принимать:

$$\sigma_{дА} := 200 \cdot 10^6$$

$\sigma_{дА}$ - допускаемая амплитуда упругих напряжений, МПа

$$s_{pp} := (s_p - c) \cdot \frac{\sigma_{p2}}{2 \cdot \sigma_{дА}} = 1.242 \text{ мм}$$

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

условие статической прочности труб

$$\text{Пров4} := \begin{cases} \text{"Условие выполняется"} & \text{if } \sigma_{2T} \leq \sigma_{д2} \\ \text{"Условие НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Пров4 = "Условие выполняется"

Проверку труб на малоцикловую прочность проводят по ГОСТ Р 52857.6. В случае, если при расчете должна учитываться ползучесть материала, допускается проводить проверку на малоцикловую прочность по приложению Д.

При проверке труб на малоцикловую прочность следует принимать

$$\Delta\sigma_{2.2} := 0$$

$$\Delta\sigma_{2.2} := \Delta\sigma_3$$

Проверку труб на устойчивость проводят в случае, если

K_T - коэффициент условий работы при расчете труб на устойчивость;

-Для рабочих условия:

$$K_{T1} := 1.3$$

-Для условий гидроиспытания:

$$K_{T2} := 1.126$$

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

$$l_{1R} := 500 \text{ мм}$$

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

$$l_{2R} := 500 \text{ мм}$$

l_R - расчетная длина труб при продольном изгибе, мм;

$$l_R := \max(l_{2R}, 0.7l_{1R}) = 500 \text{ мм}$$

λ - параметр, используемый при расчете на продольный изгиб;

-Для рабочих условия:

$$\lambda_1 := K_{T1} \cdot \sqrt{\frac{\sigma_{д2}}{E_T}} \cdot \frac{l_R}{(d_T - s_T)} = 0.761$$

-Для условий гидроиспытания:

$$\lambda_2 := K_{T2} \cdot \sqrt{\frac{\sigma_{д2}}{E_T}} \cdot \frac{l_R}{(d_T - s_T)} = 0.659$$

$$\varphi_T := 0.8$$

из рисунка 5.2.5

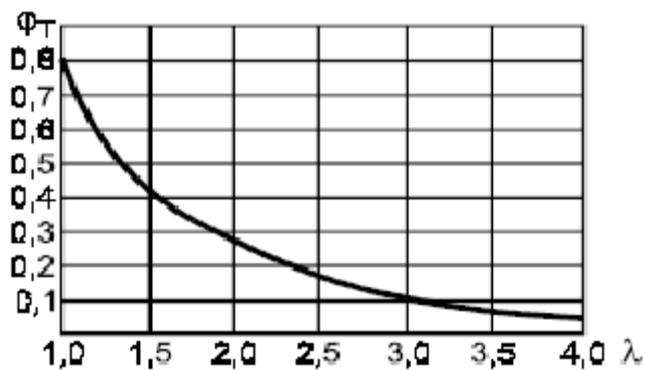


Рис. 15 Коэффициент уменьшения допускаемого напряжения при продольном изгибе

Условие устойчивости:

Длина вальцовки:

$$l_B := 35 \text{ мм}$$

$$N_{дТ} := 0.5 \cdot \pi \cdot s_T \cdot (d_T - s_T) \cdot \min\left(1.8, \frac{l_B}{s_T}\right) \cdot \sigma_{дР} = 1.897 \times 10^{10} \text{ Па}$$

$$\text{Пров5} := \begin{cases} \text{"Условие УСТОЙЧИВОСТИ выполняется"} & \text{if } |N_T| \leq |N_{дт}| \\ \text{"Условие НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Пров5 = "Условие УСТОЙЧИВОСТИ выполняется"

Проверка жесткости труб

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

Проверку жесткости труб проводят только при

$$N_T < 0$$

$$\text{Пров7} := \begin{cases} \text{"Проверка жесткости труб нужна"} & \text{if } |N_T| > |N_{дт}| \\ \text{"Проверка жесткости труб НЕ нужна"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Пров7 = "Проверка жесткости труб НЕ нужна"

Допускаемая нагрузка на соединение трубы с решеткой $N_{дт}$ определяется на основании испытаний или по нормативным документам.

При отсутствии более точных данных допускается вычислять допускаемую нагрузку на вальцовочное соединение трубы с решеткой.

Для труб завальцованных в гладком отверстии с отбортовкой.

Допускаемое напряжение материала сталь 12МХ труб при температуре 172:

$$\sigma_T := \sigma_{д2} = 1.45 \times 10^8 \text{ Па}$$

Допускаемое напряжение материала труб. решетки при температуре 172:

$$\sigma_p := \sigma_{д2} = 1.45 \times 10^8 \text{ Па}$$

Площадь трубной решетки, заключенной между четырьмя трубами:

$$f := 0.866t^2 - \frac{\pi \cdot d_T^2}{4} = 395.91 \text{ мм}^2$$

Трубная нагрузка:

$$q := P_{рас1} \cdot f = 1.034 \times 10^9$$

$$Q := 6.357 \times 10^4 \text{ Па}$$

$$q := \frac{Q}{n} = 61.839 \text{ Н}$$

Температурное напряжение в трубе:

$$\sigma_{\text{ТТ}} := 4.853 \times 10^8 \text{ Па}$$

Площадь поперечного сечения стенки трубы:

$$d_{\text{Н}} := 0.025$$

$$d_{\text{В}} := 0.021$$

$$f_{\text{Т}} := \frac{\pi}{4} \cdot (d_{\text{Н}}^2 - d_{\text{В}}^2) = 1.445 \times 10^{-4} \text{ м}^2$$

$$q_{\text{Т}} := \sigma_{\text{Т}} \cdot f_{\text{Т}} = 7.013 \times 10^4$$

Суммарное усилие:

$$q_{\text{С}} := q - q_{\text{Т}} = -7.007 \times 10^4 \text{ Н}$$

Удельная нагрузка от давления на единицу длины окружности:

$$\sigma_0 := \frac{q}{\pi \cdot d_{\text{Н}}} = 787.353 \frac{\text{Н}}{\text{м}}$$

$$\sigma_{0\text{Д}} := 0.04 \cdot 10^6 \frac{\text{Н}}{\text{м}}$$

$$\text{Пров8} := \begin{cases} \text{"Условие прочности выполняется"} & \text{if } \sigma_0 \leq \sigma_{0\text{Д}} \\ \text{"Условие НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Пров8 = "Условие прочности выполняется"

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

$$\sigma_{\text{С}} := \frac{q_{\text{С}}}{\pi \cdot d_{\text{Н}}} = -8.922 \times 10^5 \frac{\text{Н}}{\text{м}}$$

$$\sigma_{\text{СД}} := \sigma_{0\text{Д}} \cdot 2 = 8 \times 10^4 \frac{\text{Н}}{\text{м}}$$

$$\text{Пров9} := \begin{cases} \text{"Условие прочности выполняется"} & \text{if } \sigma_{\text{С}} \leq \sigma_{\text{СД}} \\ \text{"Условие НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Пров9 = "Условие прочности выполняется"

5.2.9. Вес аппарата

Вес аппарата стандартный: (согласно Гост 15122-79, стр. 9, табл. 3)

$$G_{\text{аст}} := 11510 \cdot 9.8 = 1.128 \times 10^5 \text{ Н}$$

Вес аппарата в условиях испытаний:

плотность воды при температуре испытаний:

$$\rho_{\text{вод}} := 1000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

Вес воды:

Длина цилиндрической обечайки:

$$L_{\text{цил}} := 4 \text{ м}$$

Объем днища стандартного:

$$V_{\text{дн}} := 28.3 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$$

$$D := 1.2 \text{ м}$$

$$m_{\text{вод}} := \left(\pi \cdot \frac{D^2}{4} \right) \cdot L_{\text{цил}} \cdot \rho_{\text{вод}} + \rho_{\text{вод}} \cdot V_{\text{дн}} = 4.552 \times 10^3 \text{ кг}$$

$$G_{\text{вод}} := m_{\text{вод}} \cdot g = 4.461 \times 10^4 \text{ Н}$$

Вес аппарата заполненного жидкостью в условиях испытаний:

$$G_{\text{апр}} := G_{\text{аст}} + G_{\text{вод}} = 1.574 \times 10^5 \text{ Н}$$

5.2.10. Выбор опор аппарата:

Опоры горизонтальных аппаратов типа ОГ с наружным диаметром от 325 до 720 мм (тип/ поОН26-01-29—66) [8, стр. 682, табл. 29.13].

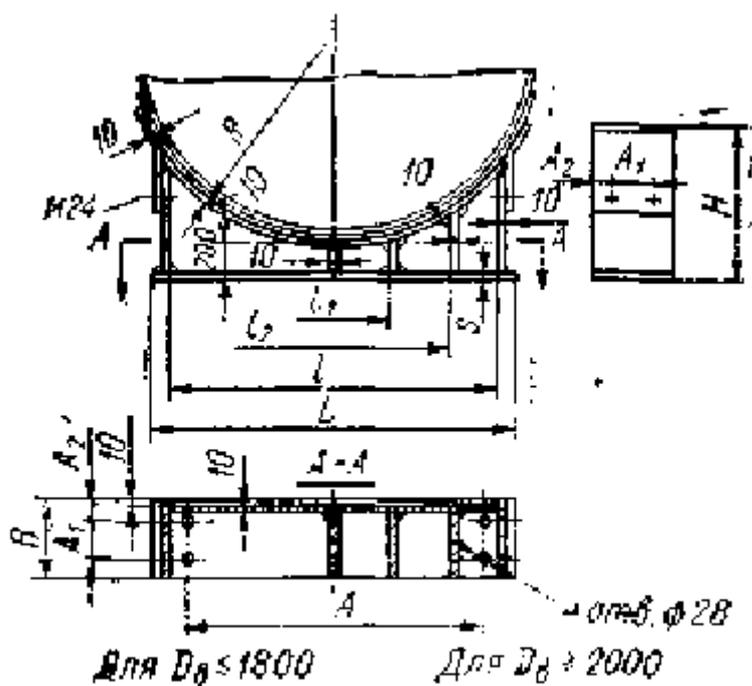


Рис. 5.2.6 Опора горизонтальная ОГ с внутренним диаметром 1200 мм

Таблица 12 Основные характеристики опоры ОГ

| G | D _н | L | L ₁ | L | B | H | A | A ₁ | A ₂ | R | S ₁ |
|---------|----------------|------|----------------|------|-----|-----|-----|----------------|----------------|-----|----------------|
| H | мм | | | | | | | | | | |
| 1300000 | 1200 | 1440 | 568 | 1090 | 250 | 580 | 800 | 140 | 55 | 656 | 16 |

5.3. Механический расчет теплообменника VX-646

Исходные данные

Аппарат типа: ТНГ

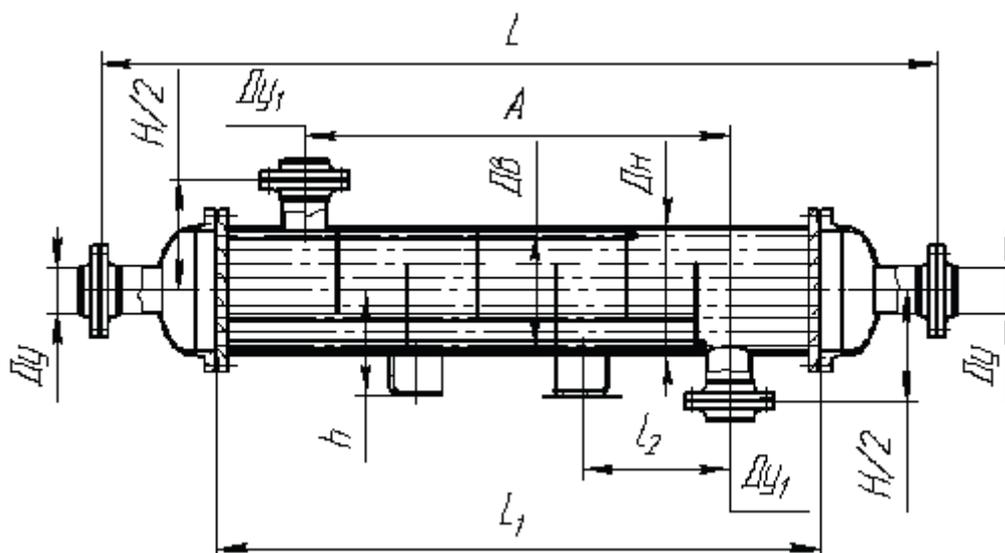


Рис. 5.3.1 Аппарат типа ТНГ, одноходовый по трубам.

Корпус аппарата изготовлен из материала: Сталь 12МХ.

Срок службы аппарата:

$$t_{\text{лет}} := 20 \text{ лет}$$

$$P_{\text{кор}} := 0.05 \frac{\text{мм}}{\text{год}} [\text{с.349,7}]$$

Скорость коррозии металла:

Внутренний диаметр кожуха:

$$D := 600 \text{ мм}$$

Основные параметры и размеры теплообменника типа ТН, согласно [10]

Длина труб

$$L_1 := 2000 \text{ мм}$$

Число труб:

$$n := 261 \text{ шт}$$

Диаметр трубы внутренний:

$$d_{\text{тр}} := 21 \text{ мм}$$

толщина стенки трубы:

$$s_{\text{тр}} := 2 \text{ мм}$$

Расстояние между перегородками:

$$l_{\text{пер}} := 500 \text{ мм}$$

Давление в днище и трубах аппарата:

$$P_{\text{тр}} := 2.6 \cdot 10^6 \text{ Па}$$

$$P_{\text{мт}} := 2.6 \cdot 10^6 \text{ Па}$$

Давление в кожухе аппарата:

Средняя температура труб:

$$t_{\text{тр}} := 172 \text{ }^\circ\text{C}$$

Температура кожуха:

$$t_{\text{мт}} := 66 \text{ }^\circ\text{C}$$

Основные характеристики днища и крышки: согласно [8, стр. 440, таблица 16.1]

Внутренний диаметр днища:

$$D_{\text{д}} := 600 \text{ мм}$$

Длина отбортовки днища:

$$h_{\text{от}} := 40 \text{ мм}$$

Длина днища (крышки):

$$h := 150 \text{ мм}$$

Длина аппарата:

$$L_{\text{дв}} := 2 \cdot (h_{\text{от}} + h) + L_1 = 2.38 \times 10^3 \text{ мм}$$

Расстояние от центров штуцеров:

$$A := 1500$$

мм

Расстояние:

$$L_2 := 800 \text{ мм}$$

Коэффициент прочности сварного шва: $\phi := 1$ [1]

Прибавки к расчетным толщинам:

Прибавка для компенсации коррозии и эрозии:

$$c_1 := P_{\text{кор}} \cdot t_{\text{лет}} = 1 \text{ мм}$$

Прибавка для компенсации минусового допуска;

$$c_2 := 0 \text{ мм}$$

Технологическая прибавка;

$$c_3 := 0 \text{ мм}$$

Прибавки к расчетным толщинам элементов:

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

Допускаемое напряжение материала (Сталь 12МХ): [1] при температуре 20С:

$$\sigma_{Д20} := 147 \cdot 10^6 \text{ Па}$$

Допускаемое напряжение в рабочем состоянии :

(Так как изготовлен. из листового проката)

Допускаемое напряжение для материала по межтрубному пространству при $t=66$ °С:

$$t_{\text{таб1}} := \begin{pmatrix} 20 \\ 100 \end{pmatrix} \text{ °С}$$

$$\sigma_{\text{таб1}} := \begin{pmatrix} 147 \cdot 10^6 \\ 146.5 \cdot 10^6 \end{pmatrix} \text{ Па}$$

$$\sigma_{Д1} := \text{Floor}(\text{interp}(t_{\text{таб1}}, \sigma_{\text{таб1}}, t_{\text{МТ}}), 0.5) = 1.467 \times 10^8 \text{ Па}$$

Допускаемое напряжение для материала по трубному пространству при $t=172$ °С:

$$t_{\text{таб2}} := \begin{pmatrix} 150 \\ 200 \end{pmatrix} \text{ °С}$$

$$\sigma_{\text{таб2}} := \begin{pmatrix} 146 \cdot 10^6 \\ 145 \cdot 10^6 \end{pmatrix} \text{ Па}$$

$$\sigma_{д2} := \text{Floor}\left(\text{linterp}(t_{\text{таб2}}, \sigma_{\text{таб2}}, t_{\text{тр}}), 0.5\right) = 1.456 \times 10^8 \text{ Па}$$

Ускорение свободного падения, м/с²

$$g := 9.8 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$$

$$\rho_{\text{воды}} := 1000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

Плотность воды, кг/м³

Внутренний диаметр аппарата:

$$D := 0.6 \text{ м}$$

Расчетное давление в кожухе в межтрубном пространстве: расчет согласно [11]

$$P_{\text{рас1}} := P_{\text{мт}} + g \cdot D \cdot \rho_{\text{воды}} = 2.606 \times 10^6 \text{ Па}$$

Давление, возникающее при гидроиспытаниях в кожухе в межтрубном пространстве:

$$P_{\text{и1}} := 1.25 \cdot P_{\text{рас1}} \cdot \frac{\sigma_{\text{Д20}}}{\sigma_{\text{д1}}} = 3.264 \times 10^6 \text{ Па}$$

Условное давления в кожухе в межтрубном пространстве (Для расчета штуцеров, фланцевых соединений):

$$P_{\text{усл1}} := P_{\text{рас1}} \cdot \frac{\sigma_{\text{Д20}}}{\sigma_{\text{д1}}} = 2.611 \times 10^6 \text{ Па}$$

Рассчитаем максимальное давление которое может быть оказано, при эксплуатаций, или при гидроиспытаниях на кожух аппарата, с давлением в межтрубном пространстве.

$$P_1 := \max(P_{\text{рас1}}, P_{\text{и1}}) = 3.264 \times 10^6 \text{ Па}$$

Расчетное давление в днище и крышке аппарата:

$$P_{\text{рас2}} := (P_{\text{тр}} + g \cdot D \cdot \rho_{\text{воды}}) = 2.606 \times 10^6 \text{ Па}$$

Давление возникающее при гидроиспытаниях в днище:

$$P_{и2} := 1.25 \cdot P_{рас2} \cdot \frac{\sigma_{Д20}}{\sigma_{д2}} = 3.29 \times 10^6 \text{ Па}$$

Условное давления в днище (Для расчета штуцеров, фланцевых соединений):

$$P_{усл2} := P_{рас2} \cdot \frac{\sigma_{Д20}}{\sigma_{д2}} = 2.632 \times 10^6 \text{ Па}$$

Рассчитаем максимальное давление которое может быть оказано, при эксплуатации, или при гидроиспытаниях на днище (крышку) аппарата, с давлением в трубном пространстве.

$$P_2 := \max(P_{рас2}, P_{и2}) = 3.29 \times 10^6 \text{ Па}$$

$$D := 600 \text{ мм}$$

5.3.1. Расчетная и исполнительные толщины стенок цилиндрической обечайки расчет проводится согласно [5]

Расчетная толщина обечайки:

$$s_{p1} := \max \left(\left(\frac{P_{рас1} \cdot D}{2 \cdot \phi \cdot \sigma_{д1} - P_{рас1}} \right), \left(\frac{P_{и1} \cdot D}{2 \cdot \phi \cdot \sigma_{д1} - P_{и1}} \right) \right) = 6.749 \text{ мм}$$

Исполнительная толщина стенки цилиндрической обечайки:

$$s_{и1} := s_{p1} + c = 7.749 \text{ мм}$$

Принимаем толщину обечайки:

$$s_1 := 9 \text{ мм}$$

Проверка условий применимости формул:

$$\text{Усл} := \begin{cases} \text{"Условия применения формул выполняются"} & \text{if } \frac{s_1 - c}{D} \leq 0.1 \\ \text{"Условия применения формул НЕ выполняются"} & \text{if } \frac{s_1 - c}{D} > 0.1 \end{cases}$$

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

Допускаемое внутреннее избыточное давление для оболочки рассчитывается по формуле:

$$P_{д1} := \frac{2 \cdot \sigma_{д1} \cdot \phi \cdot (s_1 - c)}{D + (s_1 - c)} = 3.861 \times 10^6 \text{ Па}$$

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

$$\text{Проверка}_{\text{прочн1}} := \begin{cases} \text{"Условие прочности выполняется"} & \text{if } P_{д1} \geq P_1 \\ \text{"Условие прочности НЕ выполняется"} & \text{if } P_{д1} < P_1 \end{cases}$$

$$\text{Проверка}_{\text{прочн1}} = \text{"Условие прочности выполняется"}$$

5.3.2. Расчетная и исполнительные толщины стенки эллиптического днища (крышки):

Радиус кривизны в вершине днища и крышки:

$$R_1 := \frac{D_d^2}{4 \cdot h} = 600 \text{ мм}$$

Расчет толщины стенки днища под действием внутреннего избыточного давления:

$$s_{p2} := \max \left(\left(\frac{P_{рас2} \cdot R_1}{2 \cdot \phi \cdot \sigma_{д2} - 0.5 \cdot P_{рас2}} \right), \left(\frac{P_{и2} \cdot R_1}{2 \cdot \phi \cdot \sigma_{д2} - 0.5 \cdot P_{и2}} \right) \right) = 6.818 \text{ мм}$$

Исполнительная толщина стеки оболочки:

$$s_{и2} := s_{p2} + c = 7.818 \text{ мм}$$

Принимаем исполнительную толщину днища и крышки:

$$s_2 := 9 \text{ мм}$$

Проверка условий применимости формул:

$$\text{Проверка}_{\text{прочн2}} := \begin{cases} \text{"Условия применения формул выполняются"} & \text{if } \begin{cases} 0.002 \leq \frac{s_2 - c}{D_d} \leq 0.1 \\ 0.2 \leq \frac{h}{D_d} \leq 0.5 \end{cases} \\ \text{"Условия применения формул НЕ выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$\text{Проверка}_{\text{прочн2}} = \text{"Условия применения формул выполняются"}$

Допускаемое внутреннее избыточное давление для оболочки рассчитывается по формуле:

$$P_{d2} := \frac{2 \cdot \sigma_d \cdot \phi \cdot (s_2 - c)}{R_1 + (s_2 - c)} = 3.831 \times 10^6 \text{ Па}$$

Проверка условия прочности стенок, эллиптического днища:

$$\text{Проверка}_{\text{прочн3}} := \begin{cases} \text{"Условие прочности выполняется"} & \text{if } P_{d2} > P_2 \\ \text{"Условие прочности НЕ выполняется"} & \text{if } P_{d2} < P_2 \end{cases}$$

$\text{Проверка}_{\text{прочн3}} = \text{"Условие прочности выполняется"}$

5.3.3. Выбор штуцеров и расчет их толщины

Расчет диаметров штуцеров был проведен в конструктивном расчете.

Подбираем стандартные штуцера согласно общим техническим требованиям АТК 24.218.06-90 и ГОСТ 12821-80.

Штуцера с приварными встык фланцами, с уплотнительной поверхностью типа выступ впадина.

Подбираем условный проход отверстия штуцера согласно **Гост 15122-79 (стр.7, табл.1)**

Диаметр штуцера входа Термолайна-800:

$$D_{\text{ш1}} := 200 \text{ мм}$$

Диаметр штуцера выхода Термолайна-800:

$$D_{\text{ш2}} := 200 \text{ мм}$$

Диаметр штуцера входа пропан-бутановой смеси:

$$D_{\text{ш3}} := 200 \text{ мм}$$

Диаметр штуцера выхода пропан-бутановой смеси:

$$D_{y4} := 200 \text{ мм}$$

$$s := 8 \text{ мм}$$

Таблица 5.9 Штуцера приварные встык, основные характеристики

| Наимен. | D _y мм | D мм | D ₁ мм | D ₄ мм | D ₆ мм | b мм | d мм | n Ед. | l мм | H мм | d _н мм | S мм | P _y МПа |
|-------------------------------|----------------------|---------|----------------------|----------------------|----------------------|---------|---------|----------|---------|---------|----------------------|---------|-----------------------|
| Вход Термолайна- 800 | 200 | 375 | 320 | 259 | 260 | 35 | 30 | 12 | 120 | 210 | 219 | 8 | 4 |
| Выход Термолайна- 800 | 200 | 375 | 320 | 259 | 260 | 35 | 30 | 12 | 120 | 210 | 219 | 8 | 4 |
| Вход пропан-бут. смеси | 200 | 375 | 320 | 259 | 260 | 35 | 30 | 12 | 120 | 210 | 219 | 8 | 4 |
| Выход пропан-бут. смеси | 200 | 375 | 320 | 259 | 260 | 35 | 30 | 12 | 120 | 210 | 219 | 8 | 4 |

5.3.4. Расчет укрепления отверстия по [6]

Прибавка:

$$c := 0.001 \text{ м}$$

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

$$d_{01} := 2 \cdot \left(\frac{s_1 - c}{s_{p1}} - 0.8 \right) \cdot \sqrt{D \cdot (s_1 - c)} = 53.402 \text{ мм}$$

$$d_{02} := 2 \cdot \left(\frac{s_2 - c}{s_{p2}} - 0.8 \right) \cdot \sqrt{D_d \cdot (s_2 - c)} = 51.726 \text{ мм}$$

$$\text{Пров}_{\text{шт}} := \begin{cases} \text{"необходимо укрепления отверстия"} & \text{if } \begin{cases} d_{01} < D_{y1} \\ d_{01} < D_{y2} \\ d_{02} < D_{y3} \\ d_{02} < D_{y4} \end{cases} \\ \text{"укрепления отверстия не требуется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{Пров}_{\text{шт}} = \text{"необходимо укрепления отверстия"}$$

Расчет укрепления отверстия штуцера для входа Термолайна-800

Штуцера и кольца жесткости изготовлены из стали 12МХ

Допускаемое напряжения для материала патрубка при наихудших условиях:
(гидроиспытания)

$$\sigma_{Д1} := \sigma_{Д20}$$

Допускаемое напряжения для материала кольца жесткости при наихудших условиях:

(гидроиспытания)

$$\sigma_{Д2} := \sigma_{Д20}$$

Толщина стенки штуцера:

$$s_{ш1} := 8 \text{ мм}$$

Длина внутренней части штуцера:

$$l_3 := 30 \text{ мм}$$

Отношения допускаемых напряжений:

-для внешней части штуцера:

$$\chi_1 := \min\left(1, \frac{\sigma_{Д1}}{\sigma_{Д20}}\right) = 1$$

для накладного кольца:

$$\chi_2 := \min\left(1, \frac{\sigma_{Д2}}{\sigma_{Д20}}\right) = 1$$

для внутренней части штуцера:

$$\chi_3 := \min\left(1, \frac{\sigma_{Д1}}{\sigma_{Д20}}\right) = 1$$

Условный расчетный диаметр отверстия:

$$d_{y1} := D_{y1} + 2 \cdot s_1 \cdot (1 - \chi_1) = 200 \text{ мм}$$

Расчетный диаметр отверстия (ось штуцера совпадает с нормалью к поверхности в центре отверстия):

$$d_{p1} := d_{y1} + 2 \cdot c = 200.002 \text{ мм}$$

Длина патрубка:

$$l_1 := 140 \text{ мм}$$

Расчетная длина внешней части патрубка:

$$l_{1p} := \min\left[l_1, 1.25 \sqrt{(D_{y1} + 2 \cdot c) \cdot (s_{ш1} - c)}\right] = 47.004 \text{ мм}$$

Толщина внутренней части штуцера:

$$s_{ш3} := s_{ш1} = 8 \text{ мм}$$

Расчетная длина внутренней части штуцера:

$$l_{3p} := \min\left[l_3, 0.5 \sqrt{(D_{y1} + 2 \cdot c) \cdot (s_{ш3} - c - c)}\right] = 17.407 \text{ мм}$$

Расчетная длина накладного кольца:

$$l_{2p} := 50 \text{ мм}$$

Толщина накладного кольца:

$$s_{ш2} := 8 \text{ мм}$$

Ширина зоны укрепления в обечайке:

$$L_{01} := \sqrt{D \cdot (s_1 - c)} = 69.282 \text{ мм}$$

Расчетная ширина зоны укрепления в обечайке:

$$l_p := L_{01} = 69.282 \text{ мм}$$

Расчетный диаметр одиночного отверстия, не требующий
дополнительного укрепления:

$$d_{0p} := 0.4 \cdot \sqrt{D \cdot (s_1 - c)} = 27.713 \text{ мм}$$

Укрепление отверстия накладным кольцом:

$$A_p := 0.5 \cdot (d_{y1} - d_{0p}) \cdot s_{ш1}$$

$$A_p = 689.149 \text{ мм}^2$$

$$\Phi_p := l_{1p} \cdot (s_1 - s_{p1} - c) \cdot \chi_1 + l_{3p} \cdot s_{ш2} \cdot \chi_3 + l_{2p} \cdot (s_1 - c - c) \cdot \chi_2 + l_p \cdot (s - s_{ш1} - c) = 694.854$$

$$\text{Пров2} := \begin{cases} \text{"Условие укрепления отверстия выполняются"} & \text{if } \Phi_p \geq A_p \\ \text{"Условие укрепления отверстия НЕ выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{Пров2} = \text{"Условие укрепления отверстия выполняются"}$$

Расчет укрепления отверстия с помощью накладного кольца при необходимости определения площади этого кольца:

Площадь накладного кольца:

$$A_2 := s_{ш2} \cdot l_{3p} = 139.255 \text{ мм}^2$$

$$\Phi_{2p} := \frac{1}{\chi_3} \left[0.5 \cdot (d_{p1} - d_{0p}) \cdot s_{ш1} - l_p \cdot (s - s_{ш1} - c) - l_{1p} \cdot (s_1 - s_{p1} - c) \cdot \chi_1 - l_{2p} \cdot (s_1 - c - c) \cdot \chi_2 \right]$$

$$\text{Пров}_3 := \begin{cases} \text{"Условие укрепления отверстия выполняются"} & \text{if } A_2 \geq \Phi_{2p} \\ \text{"Условие укрепления отверстия НЕ выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Пров₃ = "Условие укрепления отверстия выполняются"

Коэффициент понижения прочности:

$$K_1 := 1$$

$$\phi_1 := \phi$$

$$V := \frac{1 + \frac{l_{1p} \cdot (s_{ш1} - c) \cdot \chi_1 + l_{2p} \cdot s_{ш2} \cdot \chi_2 + l_{3p} \cdot (s_{ш3} - 2 \cdot c) \cdot \chi_3}{l_p \cdot (s_1 - c)}}{1 + 0.5 \cdot \frac{d_{p1} - d_{0p}}{l_p} + K_1 \cdot \frac{D_{y1} + 2 \cdot c}{D} \cdot \frac{\phi}{\phi_1} \cdot \frac{l_{1p}}{l_p}} = 1.013$$

Находим допускаемое избыточное давление:

$$P_{дш1} := \frac{2 \cdot K_1 \cdot (s_1 - c) \cdot \phi \cdot \sigma_{Д1} \cdot V}{D + (s_1 - c) \cdot V} = 3.918 \times 10^6 \text{ Па}$$

Проверка условия прочности стенок, штуцера:

$$\text{Пров}_{шт2} := \begin{cases} \text{"Условие прочности выполняется"} & \text{if } P_{дш1} \geq P_1 \\ \text{"Условие прочности НЕ выполняется"} & \text{if } P_{дш1} < P_1 \end{cases}$$

Пров_{шт2} = "Условие прочности выполняется"

Поскольку штуцера для данного аппарата одинаковы, давление в межтрубном пространстве и в трубном тоже одинаково, то укрепление остальных отверстий будет аналогичным.

5.3.5. Расчет фланцевого соединения: согласно [12]

Исходные данные:

Расчетная температура:

$$t_p := t_{Tp} = 172 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Материал для болта: Сталь 12X18H12T

Материал для фланца: Сталь 12МХ

Допускаемое напряжение материала при расчетной температуре для болта:
согласно [1]

$$t_{\text{таб}} := \begin{pmatrix} 150 \\ 200 \end{pmatrix} ^\circ\text{C}$$

$$\sigma_{\text{таб}} := \begin{pmatrix} 168 \cdot 10^6 \\ 160 \cdot 10^6 \end{pmatrix} \text{Па}$$

$$\sigma_{\text{б}} := \text{Floor}(\text{interp}(t_{\text{таб}}, \sigma_{\text{таб}}, t_p), 0.5) = 1.645 \times 10^8 \text{ Па}$$

допускаемое напряжение материала при температуре 20 градусов для болта:

$$\sigma_{\text{б}20} := 184 \cdot 10^6 \text{ Па}$$

Выберем плоскую неметаллическую прокладку паронит с условным давлением до 2.5 МПа и температура в интервале от -200 до 400 С.

Материал прокладки: Паронит.

Толщина прокладки:

$$h_{\text{п}} := 2 \text{ мм}$$

Согласно таблице 6:

Диаметр болта (рекомендуемый):

$$d_{\text{б}} := 20 \text{ мм}$$

Нормативный зазор между гайкой и обечайкой:

$$u := 6 \quad \text{мм}$$

Таблица 2 Вспомогательные величины для определения размеров фланца

| Диаметр болта d_b , мм | Диаметр отверстия под болт d , мм | Конструктивная добавка a , мм | | Нормативный параметр e , мм | |
|--------------------------|-------------------------------------|---------------------------------|---|-------------------------------|---|
| | | для гаек шестигранных (обычных) | для гаек шестигранных с уменьшенным размером под ключ | для плоских прокладок | для прокладок овального или восьмиугольного сечения |
| 20 | 23 | 40 | 36 | 30 | 50 |
| 22 | 25 | 42 | 40 | 32 | 52 |
| 24 | 27 | 47 | 42 | 34 | 57 |
| 27 | 30 | 52 | 47 | 37 | 60 |
| 30 | 33 | 58 | 52 | 41 | 64 |
| 36 | 40 | 60 | 63 | 48 | 71 |
| 42 | 46 | 80 | 69 | 55 | 78 |
| 48 | 52 | 92 | 80 | 61 | 84 |
| 52 | 58 | 97 | 86 | 65 | 88 |
| 56 | 60 | 110 | — | — | 195 |
| 60 | 66 | 115 | — | — | 240 |
| 64 | 70 | 120 | — | — | 240 |

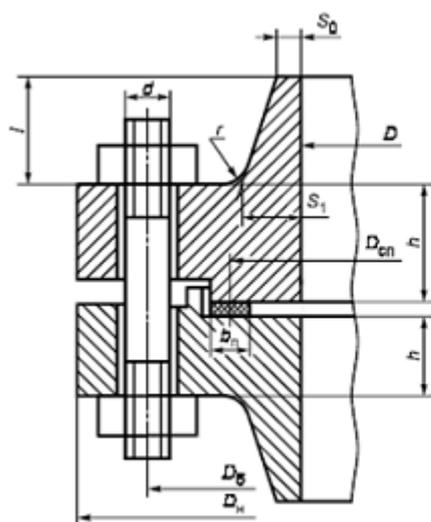


Рис 12 Фланцевые соединения с приварными в стык фланцами, с уплотнительной поверхностью типа выступ-впадина.

Расчет фланцевого соединения:

Расчет проводим согласно [12]:

Толщина цилиндрической части втулки принята:

$$s_0 := 9 \text{ мм}$$

$$s_3 := 9 \text{ мм}$$

Эффективная ширина прокладки:

-для плоских прокладок:

$$b_{II} := 15 \text{ мм}$$

при

$$b_{II} \leq 15$$

$$b_0 := b_{II} = 15 \text{ мм}$$

$$D := 600 \text{ мм}$$

Расчетный диаметр болтовой окружности фланцев:

$$D_G := D + 2 \cdot (2 \cdot s_3 + d_G + u) = 688 \text{ мм}$$

конструктивная добавка для размещения гаек по диаметру фланца: согласно таблице 2

$$a := 40 \text{ мм}$$

Расчетный наружный диаметр фланцев:

$$D_H := D_G + a = 728 \text{ мм}$$

Наружный диаметр прокладки: смотри таблицу 2

$$e := 30 \text{ мм}$$

$$D_{HP} := D_G - e = 658 \text{ мм}$$

Средний диаметр прокладки:

$$D_{СП} := D_{HP} - b_0 = 643 \text{ мм}$$

Удельное давление обжатия прокладки: [13, стр. 98, таб. 1 44]

$$q_{обж} := 20 \cdot 10^6 \text{ Па}$$

Усилие для смятия прокладки при затяжке:

$$P_{обж} := 0.5 \cdot \pi \cdot D_{СП} \cdot b_0 \cdot q_{обж} = 3.03 \times 10^{11} \text{ Па}$$

прокладочный коэффициент: смотри таблицу 3

$$k_{пр} := 2.5$$

Таблица 7 Характеристики плоских неметаллических прокладок

| Материал прокладки | Коэффициент $k_{пр}$ | Давление обжатия прокладки, МПа | | Модуль упругости E_{II} , МПа |
|---|----------------------|---------------------------------|------------------------|---------------------------------|
| | | минимальное $P_{пр}$ | допускаемое $[P_{пр}]$ | |
| Резина с твердостью по прибору ТШР от 0,76 до 1,2 МПа | 0,5 | 2 | 18 | 3 $[1 + b/(2h_{II})]$ |
| Резина с твердостью по прибору ТШР свыше 1,2 МПа | 1 | 3 | 20 | 4 $[1 + b/(2h_{II})]$ |
| Картон асбестовый толщиной 3 мм | 2,5 | 20 | 130 | 2000 |
| Паронит толщиной ≥ 1 мм | 2,5 | 20 * | 130 | 2000 |
| Фторопласт-4 толщиной 1—3 мм | 2,5 | 10 | 40 | 2000 |

* Для сред с высокой проникающей способностью (водород, гелий, легкие нефтепродукты, сжиженные газы и т. п.) $P_{пр} = 35$ МПа.

Усилие для обеспечения герметичности фланцевого соединения:

$$R_{II} := \pi \cdot D_{сII} \cdot b_0 \cdot k_{пр} \cdot P_{рас2} = 1.974 \times 10^{11} \text{ Н}$$

шаг расположение болтов:

$$t_{III} := 3.8 \cdot d_{б} = 76 \text{ мм}$$

Количество болтов необходимых для обеспечения герметичности соединения:

$$n_{б} := \pi \cdot \frac{D_{б}}{t_{III}} = 28.44 \text{ болтов}$$

примем количество болтов (принимая кратное четырем):

$$n_{б} := 32 \text{ болтов}$$

Расчетная площадь поперечного сечения болтов [13, стр. 98]:

$$f_{б} := 235 \text{ мм}^2$$

Суммарная площадь сечения болтов по внутреннему диаметру резьбы диаметра:

$$A_{б} := n_{б} \cdot f_{б} = 7.52 \times 10^3 \text{ мм}^2$$

Равнодействующая нагрузка от давления:

$$Q_{д} := 0.785 \cdot P_{усл2} \cdot D_{сII}^2 = 8.541 \times 10^{11} \text{ Н}$$

Плечи действий усилия в болтах:

-Для приварных встык фланцев:

$$b := 0.5 \cdot (D_{\sigma} - D_{\text{сп}}) = 22.5 \text{ мм}$$

Коэффициент β_1 определяем согласно рисунку 1.39 [5, стр. 95]:

$$\frac{D}{s_0} = 66.667$$

$$\beta_1 := 3$$

Толщина конической части втулки:

$$s_{1B} := \beta_1 \cdot s_0 = 27 \text{ мм}$$

Уклон втулки (принимаем):

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

прибавка к толщине

$$c := 2 \text{ мм}$$

Высота втулки:

$$h_B := 0.5 \cdot \sqrt{D \cdot (s_0 - c)} = 32.404 \text{ мм}$$

Эквивалентная толщина втулки фланца:

$$s_{\text{ЭК}} := s_0 \cdot \left[1 + \frac{h_B \cdot (\beta_1 - 1)}{h_B + 0.25 \cdot (\beta_1 + 1) \cdot \sqrt{D \cdot s_0}} \right] = 14.508 \text{ мм}$$

Высота фланца:

$$\lambda_{\phi} := 0.32$$

для фланцев приварных встык при условном давлений.

$$\lambda_{\phi} \cdot \sqrt{D \cdot s_{\text{ЭК}}} = 29.856 \text{ м}$$

Принятая конструктивно высота фланца:

$$h_{\phi} := 45 \text{ м}$$

$$\text{Усл}_1 := \begin{cases} \text{"Условия выполняются"} & \text{if } h_{\phi} \geq \lambda_{\phi} \cdot \sqrt{D \cdot s_{\text{ЭК}}} \\ \text{"Условия не выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{Усл}_1 = \text{"Условия выполняются"}$$

Плечо усилий от давления на фланец :

$$e := 0.5 \cdot (D_{\text{сп}} - D - s_{\text{ЭК}}) = 14.246 \text{ м}$$

По [12, приложение И] для паронитовой прокладки:

коэффициент обжатия прокладки:

$$K_{\text{обж}} := 0.9$$

модуль продольной упругости:

$$E_{\text{П}} := 2 \cdot 10^9 \text{ Па}$$

толщина прокладки:

$$h_{\text{П}} := 2 \text{ мм}$$

Податливость прокладки:

$$y_{\text{П}} := \frac{h_{\text{П}} \cdot K_{\text{обж}}}{E_{\text{П}} \cdot \pi \cdot D_{\text{сп}} \cdot b_{\text{П}}} = 2.97 \times 10^{-14}$$

Расстояние между опорными поверхностями гаек:

$$l_{\text{го}} := 2 \cdot (h_{\text{ф}} + h_{\text{П}}) = 94 \text{ мм}$$

Эффективная длина болта:

$$l_{\text{б}} := l_{\text{го}} + 0.28 \cdot d_{\text{б}} = 99.6 \text{ мм}$$

Модуль упругости при температуре 20 градусов:

-Для болта из стали :

$$E_{\text{б20}} := 2 \cdot 10^{11} \text{ Па}$$

$$y_{\text{б}} := \frac{l_{\text{б}}}{E_{\text{б20}} \cdot f_{\text{б}} \cdot n_{\text{б}}} = 6.622 \times 10^{-14}$$

Параметр длинны обечайки:

$$l_0 := \sqrt{D \cdot s_0} = 73.485 \text{ мм}$$

Отношение наружного диаметра тарелки фланца к внутреннему диаметру:

$$K := \frac{D_{\text{нп}}}{D} = 1.097$$

$$\beta_T := \frac{K^2 \cdot (1 + 8.55 \cdot 0.43429 \ln(K)) - 1}{(1.05 + 1.945 \cdot K^2) \cdot (K - 1)} = 1.876$$

$$\beta_U := \frac{K^2 \cdot (1 + 8.55 \cdot 0.43429 \ln(K)) - 1}{1.36 \cdot (K^2 - 1) \cdot (K - 1)} = 23.072$$

$$\beta_Y := \frac{1}{K - 1} \left[0.69 + 5.72 \cdot \frac{K^2 \cdot (0.43429 \ln(K))}{K^2 - 1} \right] = 21.209$$

$$\beta_Z := \frac{(K^2 + 1)}{(K^2 - 1)} = 10.868$$

$$\frac{s_{1B}}{s_0} = 3$$

$$\frac{h_B}{l_0} = 0.441$$

по рисунку 13, 14 определяем:

$$\beta_F := 0.835$$

$$\beta_V := 0.17$$

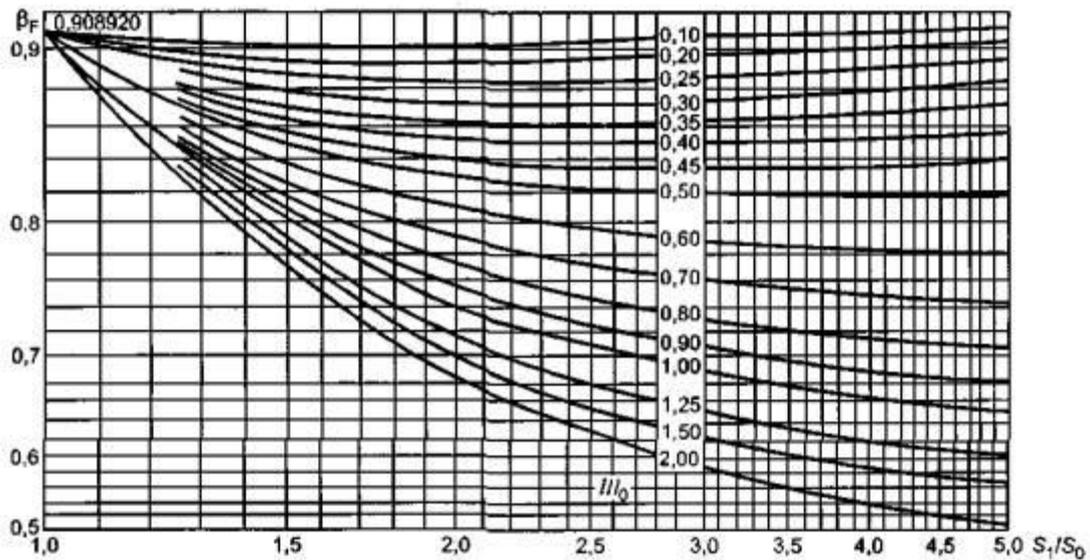


Рис. 13 Коэффициент β_F

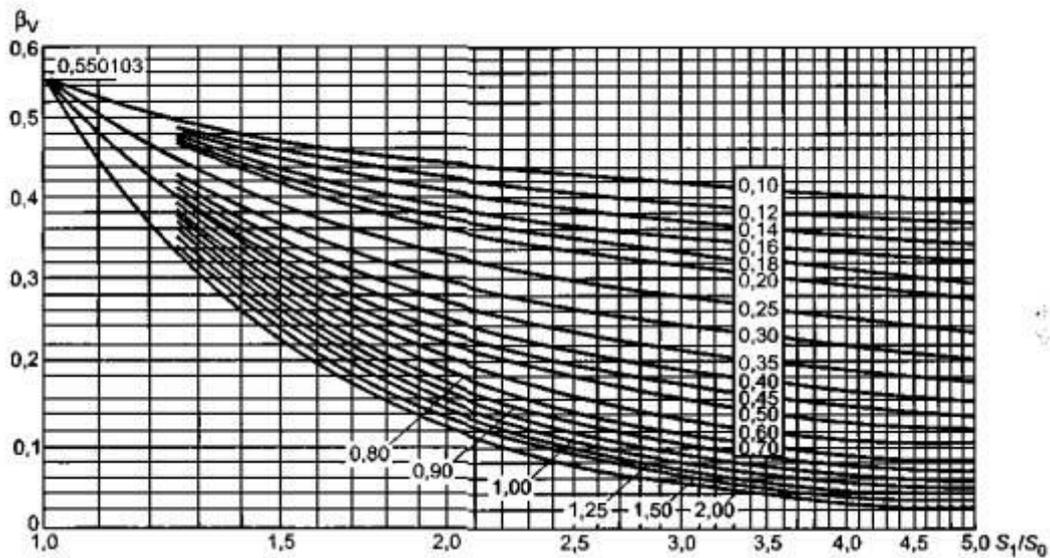


Рис. 14 Коэффициент β_v

Вычислим коэффициент :

$$\lambda := \frac{\beta_F \cdot h_\Phi + l_0}{\beta_T \cdot l_0} + \frac{\beta_v \cdot h_\Phi^3}{\beta_U \cdot l_0 \cdot s_0^2} = 0.918$$

Модуль упругости материала фланца при температуре 20 градусов:

$$E_{20} := 2 \cdot 10^{11} \text{ Па}$$

Модуль упругости материала фланца при рабочей температуре:

$$E := 2 \cdot 10^{11} \text{ Па}$$

Модуль упругости материала болта при температуре 20 градусов:

$$E_\sigma := 2 \cdot 10^{11} \text{ Па}$$

Угловая податливость фланца при затяжке:

$$y_\Phi := \frac{0.91 \cdot \beta_v}{\lambda \cdot s_0^2 \cdot l_0 \cdot E_{20}} = 0$$

Жесткость фланцевого соединения:

$$\gamma := \frac{1}{y_\Pi + y_\sigma \cdot \frac{E_{\sigma 20}}{E_\sigma} + 2 \cdot b^2 \cdot y_\Phi \cdot \frac{E_{20}}{E}} = 4.18 \times 10^{12}$$

Усилие, возникающие от температурных деформаций

Температурный коэффициент линейного расширения материала фланцев (12МХ)

$$\alpha_{\phi 1} := 12.8 \cdot 10^{-6}$$

$$\alpha_{\phi 2} := 12.8 \cdot 10^{-6}$$

$$\alpha_{\phi} := 12.8 \cdot 10^{-6}$$

болтов

$$\alpha_2 := 17.35 \cdot 10^{-6}$$

Расчетная температура неизолированных фланцев:

$$t_{\phi 1} := 0.96 \cdot t_p = 165.12 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$t_{\phi 2} := 0.96 \cdot t_p = 165.12 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Расчетная температура болтов:

$$t_{\sigma} := 0.95 \cdot t_p = 163.4 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Усилия возникающие от температурных деформаций:

$$Q_t := \gamma \cdot [\alpha_{\phi 1} \cdot h_{\phi} \cdot (t_{\phi 1} - 20) + \alpha_{\phi 2} \cdot h_{\phi} \cdot (t_{\phi 2} - 20) - \alpha_2 \cdot (h_{\phi} - h_{\phi}) \cdot (t_{\sigma} - 20)] = 6.989 \times 10^{11} \text{ Н}$$

Коэффициент жесткости фланцевого соединения нагруженного внутренним давлением:

$$\alpha := 1 - \frac{y_{\Pi} - 2 \cdot y_{\phi} \cdot e \cdot b}{y_{\Pi} + y_{\sigma} + 2 \cdot e \cdot y_{\phi} \cdot b} = 1.327$$

Угловая податливость фланца:

Податливость фланца:

$$\lambda_{\phi} := \frac{h_{\phi}}{\sqrt{D \cdot s_{\Pi 1}}} = 0.66$$

$$\psi_2 := \frac{(D_H + D)}{(D_H - D)} = 10.375$$

$$\psi_1 := 1.28 \cdot 0.43 \cdot \ln\left(\frac{D_H}{D}\right) = 0.106$$

$$\nu := \frac{1}{1 + 0.9 \cdot \lambda_\phi \cdot \left(1 + \psi_1 \cdot \frac{h_\phi^2}{s_1^2}\right)} = 0.487$$

$$E := 2 \cdot 10^{11} \text{ Па}$$

Для фланца

$$y_{\phi H} := [1 - \nu \cdot (1 + 0.9 \cdot \lambda_\phi)] \cdot \frac{\psi_2}{h_\phi^3 \cdot E}$$

$$y_\phi = 0$$

$$\alpha_M := y_\phi + 2 \cdot y_{\phi H} \cdot b \cdot \left(b + e - \frac{e^2}{D_{\text{сп}}}\right) = 2.753 \times 10^{-13}$$

Коэффициент жесткости фланцевого соединения:

$$k_{\text{ж}} := \frac{y_\phi + 0.5 \cdot y_{\phi H} \cdot (D_\phi - D_d - s_{\text{эж}}) \cdot (D_\phi - D_{\text{сп}})}{y_\Pi + y_\phi + 0.5 \cdot y_{\phi H} \cdot (D_\phi - D_{\text{сп}})^2} = 1.159$$

Нагрузка действующая на фланец:

$$F := P_{\text{усл}2} \cdot \pi \cdot \frac{D_{\text{сп}}^2}{4} = 8.546 \times 10^{11} \text{ Н}$$

Болтовая нагрузка в условиях монтажа:

Давления для прокладки

$$P_{\text{пр}} := 20 \cdot 10^6 \text{ Па}$$

Усилия возникающие от температурных деформаций:

$$F_t := \frac{y_\phi \cdot n_\phi \cdot f_\phi \cdot E_\phi \cdot (\alpha_\phi \cdot t_{\phi 1} - \alpha_2 \cdot t_\phi)}{y_\Pi + y_\phi + 0.5 \cdot y_{\phi H} \cdot (D_\phi - D_{\text{сп}})^2} = -3.192 \times 10^{11}$$

$$F_{\phi 1} := \max(k_{\text{ж}} \cdot F + R_n, 0.5 \cdot \pi \cdot D_{\text{сп}} \cdot b_0 \cdot P_{\text{пр}}) = 1.188 \times 10^{12} \text{ Н}$$

Болтовая нагрузка в рабочих условиях:

$$F_{\phi 2} := F_{\phi 1} + (1 - k_{\text{ж}}) \cdot F + F_t = 7.327 \times 10^{11} \text{ Н}$$

Допускаемое напряжения материала фланца

$$\sigma_{дф20} := \sigma_{Д20} = 1.47 \times 10^8 \text{ Па}$$

$$\sigma_{дф} := \sigma_{д2} = 1.456 \times 10^8 \text{ Па}$$

Приведенный изгибающий момент:

$$M_0 := \max \left[0.5 \cdot (D_{\bar{6}} - D_{\text{сп}}) \cdot F_{\bar{6}1}, 0.5 \cdot (D_{\bar{6}} - D_{\text{сп}}) \cdot F_{\bar{6}2} + (D_{\text{сп}} - D - s_{и1}) \cdot F \cdot \frac{\sigma_{дф20}}{\sigma_{дф}} \right] = 4.691 \times 10^{13}$$

$$M_0 = 4.691 \times 10^{13} \text{ Нм}$$

Проверка прочности:

Условия прочности болтов:

$$\text{Усл}_{\text{проч1}} := \begin{cases} \text{"Условия выполняются"} & \text{if } \begin{cases} \frac{F_{\bar{6}1}}{n_{\bar{6}} \cdot f_{\bar{6}}} < \sigma_{\bar{6}20} \\ \frac{F_{\bar{6}2}}{(n_{\bar{6}} \cdot f_{\bar{6}})} < \sigma_{\bar{6}} \end{cases} \\ \text{"Условия не выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{Усл}_{\text{проч1}} = \text{"Условия выполняются"}$$

Условие прочности прокладки:

$$F_{\bar{6}\text{max}} := \max(F_{\bar{6}1}, F_{\bar{6}2}) = 1.188 \times 10^{12} \text{ Н}$$

$$\text{Усл}_{\text{проч2}} := \begin{cases} \text{"Условия выполняются"} & \text{if } \frac{F_{\bar{6}\text{max}}}{\pi \cdot b \cdot D_{\text{сп}}} < P_{\text{пр}} \\ \text{"Условия не выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{Усл}_{\text{проч2}} = \text{"Условия не выполняются"}$$

Окружное напряжение в кольце фланца:

$$\sigma_{\text{к}} := M_0 \cdot [1 - \nu \cdot (1 + 0.9 \cdot \lambda_{\text{ф}})] \cdot \frac{\psi^2}{D \cdot h_{\text{ф}}^2} = 8.976 \times 10^7 \text{ Н}$$

Условие герметичности фланцевого соединения:

$$\theta := \frac{\sigma_{\text{к}}}{E} \cdot \left(\frac{D}{h_{\text{ф}}} \right) = 5.984 \times 10^{-3} \text{ рад}$$

Допускаемый угол поворота приварных встык фланцев:

$$K_{\Theta} := 1.3$$

$$\Theta_{\text{доп}} := 0.00\epsilon$$

$$H := K_{\Theta} \cdot \Theta_{\text{доп}} = 7.8 \times 10^{-3}$$

$$\text{Усл5} := \begin{cases} \text{"Условия выполняются"} & \text{if } \theta < H \\ \text{"Условия не выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Усл5 = "Условия выполняются"

Подбор стандартных фланцев: согласно [4]

Внутренний диаметр аппарата:

$$D = 600 \text{ мм}$$

Наружный диаметр фланца:

$$D_{\text{нф}} := 795 \text{ мм}$$

Наружный диаметр прокладки:

$$D_{\text{нп}} := 657 \text{ мм}$$

Диаметр болтовой окружности фланцев:

$$D_{\text{б}} := 735 \text{ мм}$$

Высота фланца:

$$h_{\text{ф}} := 45 \text{ мм}$$

5.3.6. Расчет элементов кожухотрубного аппарата с неподвижной решеткой

Расчет проводится согласно [14]

Вспомогательные величины:

Толщины трубных решеток теплообменных аппаратов с неподвижными трубными решетками, назначаются конструктивно с последующей проверкой по формулам настоящего раздела стандарта.

Относительная характеристика беструбного края трубной решетки:

Внутренний радиус кожуха:

$$a := 300 \text{ мм}$$

Расстояние от оси кожуха до оси наиболее удаленной трубы:

$$a_1 := 275 \text{ мм}$$

Число труб, согласно технологическому расчету:

$$i := 261 \text{ шт}$$

$$m_n := \frac{a}{a_1} = 1.091$$

Наружный диаметр трубы в трубной решетке:

$$d_T := 25 \text{ мм}$$

Толщина стенки трубы:

$$s_T := 2 \text{ мм}$$

Шаг расположения труб:

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

Коэффициент прочности решетки:

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

Толщина трубной решетки:

$$s_p := \frac{D}{4.7} \cdot \sqrt{\frac{P_2}{\sigma_{д2} \cdot \phi_p}} + c = 34.733 \text{ мм}$$

Принимаем толщину трубной решетки:

$$s_p := 40 \text{ мм}$$

Коэффициенты влияния давления на трубную решетку вычисляют по формулам:

- со стороны межтрубного пространства:

$$\eta_M := 1 - \frac{i \cdot d_T^2}{4 \cdot a_1^2} = 0.461 \quad [14, \text{с.9}]$$

- со стороны трубного пространства:

$$\eta_T := 1 - \frac{i \cdot (d_T - 2 \cdot s_T)^2}{4 \cdot a_1^2} = 0.62 \quad [14, \text{с.10}]$$

l - половина длины трубы теплообменного аппарата или аппарата воздушного охлаждения

$$l := 1000 \text{ мм}$$

Материал для труб: Сталь 09Г2С.

E_k - модуль продольной упругости материала кожуха:

$$E_k := 2 \cdot 10^{11} \text{ Па}$$

E_T - модуль продольной упругости материала труб:

$$E_T := 2 \cdot 10^{11} \text{ Па}$$

s_k - толщина стенки кожуха:

$$s_k := 9 \text{ мм}$$

Основные характеристики жесткости элементов теплообменного аппарата.

Модуль упругости основания (системы труб) вычисляют по формуле

$$K_y := \frac{E_T \cdot (\eta_T - \eta_M)}{l} = 3.175 \times 10^7 \text{ Па}$$

Приведенное отношение жесткости труб к жесткости кожуха вычисляют по формуле

$$\rho := \frac{K_y \cdot a_1 \cdot l}{E_k \cdot s_k} = 4.851$$

Коэффициенты изменения жесткости системы трубы — кожух вычисляют по формулам:

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

Для аппаратов с не подвижной трубной решеткой:

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

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

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 системы решетка — трубы вычисляют по формуле

E_p - модуль продольной упругости материала решетки Сталь 09Г2С:

$$E_p := 2 \cdot 10^{11} \text{ Па}$$

s_p - толщина трубной решетки, мм;

$$s_p := 40 \text{ мм}$$

ψ_0 - коэффициент жесткости перфорированной плиты;

$$\psi_0 := 0.13$$

$$\beta := \frac{1.82}{s_p} \cdot \sqrt[4]{\frac{K_y \cdot s_p}{\psi_0 \cdot E_p}} = 0.021$$

Безразмерный параметр системы решетка — трубы вычисляют по формуле

$$\omega := \beta \cdot a_1 = 5.882$$

Определение усилий в элементах теплообменного аппарата

t_k - средняя температура стенки кожуха, °С;

$$t_k := 66$$

t_t - средняя температура стенок труб, °С;

$$t_t := 172$$

α_k - коэффициент линейного расширения материала кожуха при температуре t_k , 1/°С; (сталь 12МХ)

$$\alpha_k := 11.2 \cdot 10^{-6}$$

α_t - коэффициент линейного расширения материала труб при температуре t_t 1/°С; (сталь 12МХ)

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

Температура сборки аппарата:

$$t_0 := 20^\circ\text{C}$$

K_Φ - коэффициент жесткости фланцевого соединения при изгибе,
Н·мм;

$$K_\Phi := 1 \text{ Н·мм}$$

- расчетное давление в межтрубном пространстве,

$$P_{\text{рас1}} = 2.606 \times 10^6 \text{ Па}$$

- расчетное давление в трубном пространстве

$$P_{\text{рас2}} = 2.606 \times 10^6 \text{ Па}$$

R_1 - радиус центра тяжести тарелки фланца кожуха, мм;

$$R_1 := \frac{D_H - D}{4} + \frac{D}{2} = 348.75 \text{ мм}$$

$m_{\text{ср}}$ — коэффициент влияния давления на продольную деформацию труб:

$$m_{\text{ср}} := 0.15 \cdot \frac{i \cdot (d_T - 2 \cdot s_T)^2}{4 \cdot a_1^2} = 0.057$$

Приведенное давление p_0 вычисляют по формуле:

$$A_1 := [\alpha_K \cdot (t_K - t_0) - \alpha_T \cdot (t_T - t_0)] \cdot K_y \cdot l$$

$$A_2 := [\eta_T - 1 + m_{\text{ср}} + m_n \cdot (m_n + 0.5\rho \cdot K_q)] \cdot P_{\text{и2}}$$

$$A_3 := [\eta_M - 1 + m_{\text{ср}} + m_n \cdot (m_n + 0.3\rho \cdot K_p)] \cdot P_{\text{и1}}$$

$$p_0 := A_1 + A_2 - A_3 = -3.556 \times 10^7 \text{ Па}$$

Приведенное отношение жесткости труб к жесткости фланцевого соединения

вычисляют по формуле

$$\rho_1 := \frac{K_y \cdot a \cdot a_1}{\beta^2 \cdot K_\Phi \cdot R_1} = 1.642 \times 10^{13} \text{ Па}$$

Коэффициенты, учитывающие влияние беструбного края и поддерживающие влияние труб Φ_1, Φ_2, Φ_3 определяют по таблице 2.

Таблица 15 — Коэффициенты 1, 2, 3

| | | | | | | | | |
|----------|---|------|------|------|------|------|------|------|
| ω | 0 | 0,5 | 1,0 | 1,5 | 2,0 | 2,5 | 3,0 | 3,5 |
| Φ_1 | 2 | 2,0 | 2,06 | 2,28 | 2,79 | 3,58 | 4,5 | 5,39 |
| Φ_2 | 0 | 0,02 | 0,19 | 0,62 | 1,32 | 2,16 | 2,94 | 3,59 |
| Φ_3 | 0 | 0,19 | 0,76 | 1,65 | 2,75 | 3,76 | 4,65 | 5,36 |

| | | | | | | | | |
|----------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|------------------|
| ω | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | > 10 |
| Φ_1 | 8,19 | 7,65 | 9,08 | 10,51 | 11,94 | 13,36 | 14,78 | $\sqrt{2\omega}$ |
| Φ_2 | 4,13 | 5,13 | 6,15 | 7,17 | 8,19 | 9,2 | 10,21 | ω |
| Φ_3 | 6,03 | 7,36 | 8,81 | 10,24 | 11,66 | 13,08 | 14,5 | $\sqrt{2\omega}$ |

безразмерный параметр системы решетка - трубы.

$$\omega = 5.882$$

$$\Phi_1 := 10.92$$

$$\Phi_2 := 7.476$$

$$\Phi_3 := 10.666$$

Значения T_1, T_2, T_3 вычисляют по формулам:

$$t_1 := 1 + 1.4\omega \cdot (m_n - 1) = 1.749$$

$$T_1 := \Phi_1 \cdot [m_n + 0.5(1 + m_n \cdot t_1) \cdot (t_1 - 1)] = 23.798$$

$$T_2 := \Phi_2 \cdot t_1 = 13.073$$

$$T_3 := \Phi_3 \cdot m_n = 11.636$$

Изгибающий момент и перерезывающую силу, распределенные по краю трубной решетки, вычисляют по формулам:- для изгибающего момента:

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

$$s_{1k} := 9 \text{ мм}$$

$$s_{2k} := 9 \text{ мм}$$

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

$$\beta_{1k} := \frac{1.3}{\sqrt{s_{1k} \cdot a}} = 0.025 \frac{1}{\text{мм}}$$

β_2 - коэффициент системы обечайка - фланец камеры, 1/мм;

$$\beta_2 := \frac{1.3}{\sqrt{s_{2k} \cdot a}} = 0.025 \frac{1}{\text{мм}}$$

h_1 - толщина тарелки фланца кожуха, мм;

$$h_1 := 40 \text{ мм}$$

m_1 - коэффициент влияния давления на изгиб фланца:

$$m_1 := \frac{1 + \beta_1 \cdot h_1}{\beta_1^2} = 3.196 \times 10^3$$

m_2 - коэффициент влияния давления на изгиб 2-го фланца:

$$m_2 := \frac{1 + \beta_2 \cdot h_1}{\beta_2^2} = 3.196 \times 10^3$$

p_1 - приведенное давление на фланцы

$$p_1 := \frac{K_y}{\beta \cdot K_\phi} \cdot (m_1 \cdot P_{и1} - m_2 \cdot P_{и2}) = -1.226 \times 10^{17} \text{ Па}$$

$$P := P_2 = 3.29 \times 10^6 \text{ Па}$$

$$M_{II} := \left(\frac{a_1}{\beta} \right) \cdot \frac{p_1 \cdot (T_1 + \rho \cdot K_q) - p_0 \cdot T_2}{(T_1 + \rho \cdot K_q) \cdot (T_3 + \rho_1) - T_2^2} = -9.602 \times 10^7 \text{ Н·мм}$$

- для перерезывающей силы:

$$Q_{II} := a_1 \cdot \frac{p_0 \cdot (T_3 + \rho_1) - p_1 \cdot T_2}{(T_1 + \rho \cdot K_q) \cdot (T_3 + \rho_1) - T_2^2} = -3.404 \times 10^8 \text{ Н}$$

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

- для изгибающего момента:

$$M_a := M_{II} + (a - a_1) \cdot Q_{II} = -8.607 \times 10^9 \text{ Н·мм}$$

- для перерезывающей силы:

$$Q_a := m_n \cdot Q_{\Pi} = -3.714 \times 10^8 \text{ Н}$$

Осевую силу и изгибающий момент, действующие на трубу, вычисляют по формулам:- для осевой силы:

$$N_T := \frac{\pi \cdot a_1}{i} \cdot \left[(\eta_M \cdot P_1 - \eta_T \cdot P_2) \cdot a_1 + \Phi_1 \cdot Q_a + \Phi_2 \cdot \beta \cdot M_a \right] = -1.847 \times 10^{10} \text{ Н}$$

- для изгибающего момента:

Внутренний диаметр трубы:

$$d_B := d_T - 2 \cdot s_T = 21 \text{ мм}$$

J_T - момент инерции поперечного сечения трубы, мм⁴;

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

приведенная длина трубы, используемая при расчете прогиба труб и изгибающего

момента, действующего на трубу, мм;

$l_{\text{пр}}$ — вычисляют по формулам, приведенным в 5.2.7.4.

$$l_{\text{пр}} := l = 1 \times 10^3 \text{ мм}$$

$$M_T := \frac{E_T \cdot J_T \cdot \beta}{K_y \cdot a_1 \cdot l_{\text{пр}}} \cdot (\Phi_2 \cdot Q_a + \Phi_3 \cdot \beta \cdot M_a) = -2.236 \times 10^{10}$$

Усилия в кожухе вычисляют по формулам:

- усилие, распределенное по периметру кожуха:

$$Q_K := \frac{a}{2} \cdot P_{\text{и}2} - Q_{\Pi} = 8.339 \times 10^8 \text{ Н}$$

- изгибающий момент, распределенный по периметру кожуха:

$$K_1 := 1$$

$$M_K := \frac{K_1}{\rho \cdot K_{\phi} \cdot \beta} \cdot (T_2 \cdot Q_{\Pi} + T_3 \cdot \beta \cdot M_{\Pi}) - \frac{P_{\text{и}1}}{2 \cdot \beta \cdot l} = -4.573 \times 10^{10} \text{ Н} \cdot \text{мм}$$

- суммарная осевая сила, действующая на кожух:

$$F := \pi \cdot D \cdot Q_K = 1.572 \times 10^{12} \text{ Н}$$

Расчетные напряжения в элементах конструкции

D_H - наружный диаметр фланца, м;

$$D_H = 795 \text{ мм}$$

s_p - толщина трубной решетки, м;

$$s_p = 40 \text{ мм}$$

$$s_{1p} := s_p = 40 \text{ мм}$$

b_1 - ширина тарелки фланца кожуха, м;

$$b_1 := \frac{D_H - D}{2} = 97.5 \text{ мм}$$

R_1 - радиус центра тяжести тарелки фланца кожуха, м;

$$R_1 := \frac{D_H - D}{4} = 48.75 \text{ мм}$$

Расчетные напряжения в трубных решетках.

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

- изгибные:

$$\sigma_{p1} := \frac{6 \cdot |M_{II}|}{(s_{1p} - c)^2} = 3.99 \times 10^5 \text{ Па}$$

- касательные:

$$\tau_{1p} := \frac{|Q_{II}|}{s_{1p} - c} = 8.958 \times 10^6 \text{ Па}$$

Таблица 16

Таблица Г.3 — Коэффициент В

| n_B | ω | | | | | | | |
|-------|----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----------|
| | 0,5 | 1,0 | 1,5 | 2,0 | 3,0 | 4,0 | 5,0 | ≥ 10 |
| 1,0 | 0,843 | 0,972 | 1,041 | 0,991 | 0,964 | 1,029 | 1,071 | 1,117 |
| 0,9 | 0,829 | 0,943 | 1,000 | 0,949 | 0,940 | 1,000 | 1,040 | 1,083 |
| 0,8 | 0,815 | 0,914 | 0,960 | 0,908 | 0,910 | 0,971 | 1,009 | 1,051 |
| 0,7 | 0,800 | 0,886 | 0,920 | 0,871 | 0,884 | 0,944 | 0,979 | 1,020 |
| 0,6 | 0,786 | 0,858 | 0,880 | 0,836 | 0,860 | 0,918 | 0,951 | 0,990 |
| 0,5 | 0,771 | 0,829 | 0,840 | 0,804 | 0,839 | 0,894 | 0,925 | 0,963 |
| 0,4 | 0,757 | 0,801 | 0,799 | 0,777 | 0,819 | 0,871 | 0,900 | 0,938 |
| 0,3 | 0,742 | 0,773 | 0,761 | 0,754 | 0,802 | 0,852 | 0,878 | 0,915 |
| 0,2 | 0,728 | 0,744 | 0,732 | 0,737 | 0,789 | 0,835 | 0,860 | 0,896 |
| 0,1 | 0,714 | 0,716 | 0,714 | 0,727 | 0,780 | 0,823 | 0,846 | 0,882 |
| 0 | 0,700 | 0,702 | 0,709 | 0,725 | 0,776 | 0,816 | 0,837 | 0,874 |
| -0,1 | 0,703 | 0,707 | 0,716 | 0,732 | 0,778 | 0,815 | 0,835 | 0,873 |
| -0,2 | 0,705 | 0,712 | 0,723 | 0,741 | 0,787 | 0,821 | 0,841 | 0,876 |
| -0,3 | 0,708 | 0,717 | 0,730 | 0,750 | 0,796 | 0,828 | 0,846 | 0,879 |
| -0,4 | 0,711 | 0,722 | 0,738 | 0,759 | 0,805 | 0,835 | 0,852 | 0,882 |
| -0,5 | 0,713 | 0,728 | 0,745 | 0,768 | 0,814 | 0,842 | 0,857 | 0,884 |
| -0,6 | 0,716 | 0,733 | 0,753 | 0,777 | 0,823 | 0,850 | 0,863 | 0,887 |
| -0,7 | 0,718 | 0,738 | 0,760 | 0,786 | 0,832 | 0,857 | 0,869 | 0,890 |
| -0,8 | 0,721 | 0,743 | 0,768 | 0,795 | 0,841 | 0,864 | 0,874 | 0,893 |
| -0,9 | 0,723 | 0,748 | 0,775 | 0,804 | 0,849 | 0,871 | 0,880 | 0,895 |
| -1,0 | 0,726 | 0,754 | 0,783 | 0,813 | 0,858 | 0,878 | 0,885 | 0,898 |

В - коэффициент, определяемый по приложению Г, в зависимости от ω и n_B :

$$B := 1.092$$

$$\omega = 5.882$$

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

$$n_B := \frac{Q_a}{\beta \cdot M_a} = 2.017$$

$$m_A := \frac{\beta \cdot M_a}{Q_a} = 0.496$$

где А - коэффициент, определяемый по приложению Г [ГОСТ Р 52857.7-2007] в зависимости от

ω и m_A :

$$A := 0.6095$$

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

$$M_{\max} := \begin{cases} A \cdot \frac{|Q_a|}{\beta} & \text{if } \begin{cases} m_A \leq 1 \\ -1 \leq m_A \end{cases} \\ B \cdot |M_a| & \text{if } \begin{cases} m_A < -1 \\ m_A > 1 \end{cases} \end{cases}$$

$$M_{\max} = 1.058 \times 10^{10} \text{ Н}\cdot\text{м}$$

Напряжения в перфорированной части трубной решетки вычисляются по формулам:

- изгибные:

$$\sigma_{p2} := \frac{6 \cdot M_{\max}}{\phi \cdot (s_{1p} - c)^2} = 4.397 \times 10^7 \text{ Па}$$

- касательные:

$$\tau_{2p} := \frac{|Q_a|}{\phi \cdot (s_{1p} - c)} = 9.773 \times 10^6 \text{ Па}$$

Напряжения в кожухе в месте присоединения к решётке

в меридиональном направлении:

мембранные:

$$\sigma_{Mx} := \frac{|Q_k|}{(s_{1k} - c)} = 1.191 \times 10^8 \text{ Па}$$

изгибные:

$$\sigma_{ux} := \frac{6 \cdot |M_k|}{(s_{1k} - c)^2} = 5.599 \times 10^9 \text{ Па}$$

в окружном направлении:

мембранные:

$$\sigma_{M\phi} := \frac{P_{и1} \cdot a}{(s_{1k} - c)} = 1.399 \times 10^8 \text{ Па}$$

изгибные:

$$\sigma_{\phi} := 0.3 \cdot \sigma_{ux} = 1.68 \times 10^9 \text{ Па}$$

в окружном направлении:

$$\sigma_{2T} := \frac{(d_T - s_T) \max(|P_{и2}|, |P_{и1}|, |P_{и2} - P_{и1}|)}{2 \cdot s_T} = 1.892 \times 10^7 \text{ Па}$$

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

$$\sigma_{др} := \sigma_{д1} = 1.467 \times 10^8 \text{ Па}$$

Проверка прочности трубных решёток

Проверка статической прочности

$$\text{Пров1} := \begin{cases} \text{"Условие прочности выполняется"} & \text{if } \max(\tau_{1p}, \tau_{2p}) \leq 0.8 \cdot \sigma_{др} \\ \text{"Условие прочности НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Пров1 = "Условие прочности выполняется"

Проверку трубной решётки на малоцикловую прочность проводят по ГОСТ Р 52857.6.

В случае, если в расчёте должна учитываться ползучесть материала, допускается проводить проверку на малоцикловую прочность по приложению Д.[ГОСТ Р 52857.7-2007]

При проверке трубной решётки на малоцикловую прочность следует принимать:

в месте соединения с кожухом:

$$\Delta\sigma_1 := \sigma_{p1}$$

$$\Delta\sigma_2 := 0$$

$$\Delta\sigma_3 := \Delta\sigma_2$$

K_σ определяют по рисункам 7-10

в перфорированной части:

$$\Delta\sigma_{1v} := \sigma_{p1}$$

$$\Delta\sigma_{2v} := 0$$

$$\Delta\sigma_{3v} := \Delta\sigma_2$$

$$K_{\sigma v} := 1.7$$

Для многоходовых по трубному пространству теплообменных аппаратов прочность трубных решёток в зоне паза под перегородку проверяют по формулам, приведенным в 5.6.

При этом следует принимать:

$$\sigma_{дА} := 200 \cdot 10^6$$

$\sigma_{дА}$ - допускаемая амплитуда упругих напряжений, МПа

$$s_{pp} := (s_p - c) \cdot \frac{\sigma_{p2}}{2 \cdot \sigma_{дА}} = 4.177 \text{ мм}$$

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

условие статической прочности труб

$$\text{Пров4} := \begin{cases} \text{"Условие выполняется"} & \text{if } \sigma_{2T} \leq \sigma_{д2} \\ \text{"Условие НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{Пров4} = \text{"Условие выполняется"}$$

Проверку труб на малоцикловую прочность проводят по ГОСТ Р 52857.6. В случае, если при расчете должна учитываться ползучесть материала, допускается проводить проверку на малоцикловую прочность по приложению Д.

При проверке труб на малоцикловую прочность следует принимать

$$\Delta \sigma_{2} := 0$$

$$\Delta \sigma_{2} := \Delta \sigma_{3}$$

Проверку труб на устойчивость проводят в случае, если

K_T - коэффициент условий работы при расчете труб на устойчивость;

-Для рабочих услови:

$$K_{T1} := 1.3$$

-Для условий гидроиспытания:

$$K_{T2} := 1.126$$

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

$$l_{1R} := 500 \text{ мм}$$

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

$$l_{2R} := 500 \text{ мм}$$

l_R - расчетная длина труб при продольном изгибе, мм;

$$l_R := \max(l_{2R}, 0.7l_{1R}) = 500 \text{ мм}$$

λ - параметр, используемый при расчете на продольный изгиб;

-Для рабочих условия:

$$\lambda_1 := K_{T1} \cdot \sqrt{\frac{\sigma_{д2}}{E_T}} \cdot \frac{l_R}{(d_T - s_T)} = 0.762$$

-Для условий гидроиспытания:

$$\lambda_2 := K_{T2} \cdot \sqrt{\frac{\sigma_{д2}}{E_T}} \cdot \frac{l_R}{(d_T - s_T)} = 0.66$$

$$\varphi_T := 0.8$$

из рисунка 15



Рис. 15 Коэффициент уменьшения допускаемого напряжения при продольном изгибе

Условие устойчивости:

Длина вальцовки:

$$l_B := 35 \text{ мм}$$

$$N_{dT} := 0.5 \cdot \pi \cdot s_T \cdot (d_T - s_T) \cdot \min\left(1.8, \frac{l_B}{s_T}\right) \cdot \sigma_{дp} = 1.908 \times 10^{10} \text{ Па}$$

$$\text{Пров5} := \begin{cases} \text{"Условие УСТОЙЧИВОСТИ выполняется"} & \text{if } |N_T| \leq |N_{дТ}| \\ \text{"Условие НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Пров5 = "Условие УСТОЙЧИВОСТИ выполняется"

Проверка жесткости труб

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

Проверку жесткости труб проводят только при

$$N_T < 0$$

$$\text{Пров7} := \begin{cases} \text{"Проверка жесткости труб нужна"} & \text{if } |N_T| > |N_{дТ}| \\ \text{"Проверка жесткости труб НЕ нужна"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Пров7 = "Проверка жесткости труб НЕ нужна"

Допускаемая нагрузка на соединение трубы с решеткой $N_{дТр}$ определяется на основании испытаний или по нормативным документам.

При отсутствии более точных данных допускается вычислять допускаемую нагрузку на вальцовочное соединение трубы с решеткой.

Для труб завальцованных в гладком отверстии с отбортовкой.

Допускаемое напряжение материала сталь 12МХ труб при температуре 172:

$$\sigma_T := \sigma_{д2} = 1.456 \times 10^8 \text{ Па}$$

Допускаемое напряжение материала труб. решетки при температуре 172:

$$\sigma_p := \sigma_{д2} = 1.456 \times 10^8 \text{ Па}$$

Площадь трубной решетки, заключенной между четырьмя трубами:

$$f := 0.866 \cdot t^2 - \frac{\pi \cdot d_T^2}{4} = 395.91 \text{ мм}^2$$

Трубная нагрузка:

$$q := P_{рас1} \cdot f = 1.032 \times 10^9$$

$$Q := 6.357 \times 10^4 \text{ Па}$$

$$q := \frac{Q}{n} = 243.563 \text{ Н}$$

Температурное напряжение в трубе:

$$\sigma_{\text{Тв}} := 4.853 \times 10^8 \text{ Па}$$

Площадь поперечного сечения стенки трубы:

$$d_{\text{Н}} := 0.025$$

$$d_{\text{В}} := 0.021$$

$$f_{\text{T}} := \frac{\pi}{4} \cdot (d_{\text{Н}}^2 - d_{\text{В}}^2) = 1.445 \times 10^{-4} \text{ м}^2$$

$$q_{\text{T}} := \sigma_{\text{T}} \cdot f_{\text{T}} = 7.013 \times 10^4$$

Суммарное усилие:

$$q_{\text{с}} := q - q_{\text{T}} = -6.989 \times 10^4 \text{ Н}$$

Удельная нагрузка от давления на единицу длины окружности:

$$\sigma_0 := \frac{q}{\pi \cdot d_{\text{Н}}} = 3.101 \times 10^3 \frac{\text{Н}}{\text{м}}$$

$$\sigma_{0\text{д}} := 0.04 \cdot 10^6 \frac{\text{Н}}{\text{м}}$$

$$\text{Пров8} := \begin{cases} \text{"Условие прочности выполняется"} & \text{if } \sigma_0 \leq \sigma_{0\text{д}} \\ \text{"Условие НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Пров8 = "Условие прочности выполняется"

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

$$\sigma_{\text{с}} := \frac{q_{\text{с}}}{\pi \cdot d_{\text{Н}}} = -8.899 \times 10^5 \frac{\text{Н}}{\text{м}}$$

$$\sigma_{\text{сд}} := \sigma_{0\text{д}} \cdot 2 = 8 \times 10^4 \frac{\text{Н}}{\text{м}}$$

$$\text{Пров9} := \begin{cases} \text{"Условие прочности выполняется"} & \text{if } \sigma_{\text{с}} \leq \sigma_{\text{сд}} \\ \text{"Условие НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Пров9 = "Условие прочности выполняется"

5.3.8. Вес аппарата

Вес аппарата стандартный: (согласно Гост 15122-79, стр. 9, табл. 3)

$$G_{\text{аст}} := 1550 \cdot 9.8 = 1.519 \times 10^4 \text{ Н}$$

Вес аппарата в условиях испытаний:

плотность воды при температуре испытаний:

$$\rho_{\text{вод}} := 1000 \left(\frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \right)$$

Вес воды:

Длина цилиндрической обечайки:

$$L_{\text{цил}} := 2 \text{ м}$$

Объем днища стандартного:

$$V_{\text{дн}} := 3.56 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$$

$$D := 0.6 \text{ м}$$

$$m_{\text{вод}} := \left(\pi \cdot \frac{D^2}{4} \right) \cdot L_{\text{цил}} \cdot \rho_{\text{вод}} + \rho_{\text{вод}} \cdot V_{\text{дн}} = 569.047 \text{ кг}$$

$$G_{\text{вод}} := m_{\text{вод}} \cdot g = 5.577 \times 10^3 \text{ Н}$$

Вес аппарата, заполненного жидкостью в условиях испытаний:

$$G_{\text{апр}} := G_{\text{аст}} + G_{\text{вод}} = 2.077 \times 10^4 \text{ Н}$$

5.3.9. Выбор опор аппарата:

Опоры горизонтальных аппаратов типа ОГ с наружным диаметром от 325 до 720 мм(тип/ поОН26-01-29—66) [8, стр. 682, табл. 29.13].

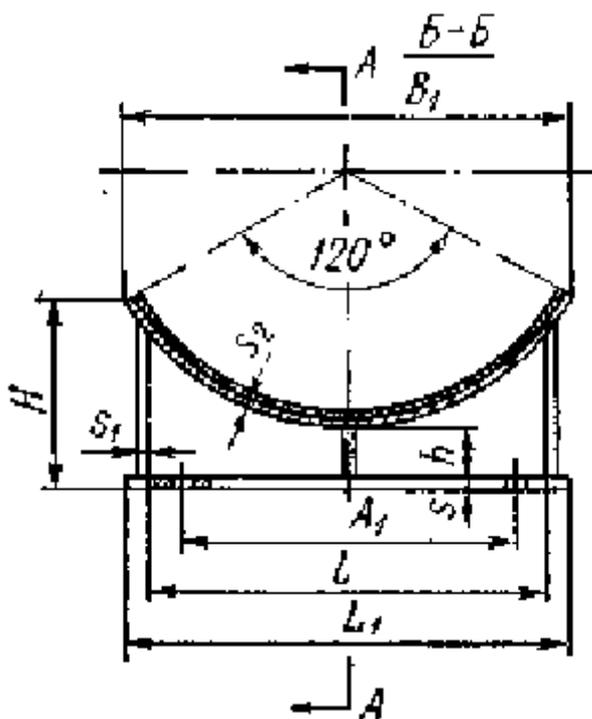


Рис. 16 Опора горизонтальная типа ОГ

Таблица 17 Опора горизонтальная основные характеристики

| G | D _H | L | L ₁ | l | B | B ₁ | b | H | h | A | A ₁ | S | S ₂ | S ₁ | d |
|--------|----------------|-----|----------------|-----|-----|----------------|----|-----|-----|-----|----------------|----|----------------|----------------|----|
| H | | мм | | | | | | | | | | | | | |
| 120000 | 600 | 680 | 568 | 524 | 120 | 568 | 70 | 342 | 180 | 480 | 408 | 10 | 8 | 6 | 30 |

6. Монтаж ректификационной колонны V-640

Подготовка аппарата к монтажу.

Способы разгрузки, транспортировки и хранения аппарата на монтажной площадке у заказчика должны обеспечивать предупреждения механических повреждений частей изделия и сохранность его от атмосферных осадков.

Выгрузка должна производиться на предварительно подготовленную площадку с укладкой на опоры - подкладки, предохраняющие изделие от перекачивания.

Комплекующие узлы и детали должны храниться в закрытом помещении, или под навесом на стеллажах, или подкладках. Строповка должна производиться за цапфы, находящиеся на корпусе аппарата. Запрещается проводить строповку за люки, штуцера и другие выступающие части аппарата.

При разгрузке должны быть соблюдены все требования по подъёмно - транспортным работам. Запрещается сбрасывать с платформ ящики с комплекующими деталями, а также узлы, отгруженные отдельно от изделия.

Грузополучатель должен обеспечить транспортировку изделия после разгрузки с учётом его численности и целостности.

Разрешается транспортировка на салазках, специальных прицепах, специально оборудованных платформах. Запрещается транспортировка волоком и разгрузка скатыванием.

Требования к монтажу

При монтаже аппаратов должно выполняться требование СНиП 3.05.05-84 "Строительные нормы и правила. Техническое обслуживание. Основные положения и требования". Аппарат должен быть снабжён контрольной, измерительной, предохранительной и другой арматурой, предусмотренной документацией. Аппараты, работающие при изменяющейся температуре стенок, должны быть снабжены приборами для контроля скорости и равномерности подогрева по длине и высоте аппарата и

реперами для контроля тепловых напряжений. Необходимость оснащения сосудов указанными приборами а также необходимая скорость прогрева и охлаждения определяется проектной организацией.

При передаче в монтаж оборудование подвергается наружному осмотру без разборки узлов, при этом проверяется соответствие оборудования заводской документации, выполненной по стандарту и комплектность оборудования.

Размещение, установка аппаратов должны обеспечивать необходимые разрывы между ними в соответствии с действующими нормами для их обслуживания при эксплуатации и ремонте.

Вертикальность установки аппаратов проверяется по контрольным рискам или бобышкам.

Монтаж ректификационной колонны производится на готовый фундамент. Представитель монтажной организации должен принять у строительной организации фундамент под колонну, проверив правильность его устройства, соответствие расположения отверстий под фундаментные болты, после чего подписать акт о приеме фундамента. После проведения всех организационных мероприятий разрешается проводить монтаж оборудования.

Одним из способов установки оборудования колонного типа на фундамент является подъем оборудования методом поворота вокруг шарнира монтажными мачтами.

Этот способ, обычно применяется для подъема аппаратов колонного типа, металлических дымовых труб и высотных металлоконструкций, располагающихся на невысоких фундаментах (до 2м).

Преимущества этого способа:

- максимальные нагрузки возникают в такелажной оснастке в начальный момент подъема, что повышает безопасность такелажных работ,
- масса поднимаемого оборудования может значительно превышать грузоподъемность такелажных средств;

-подъем может осуществляться как одиночными, так и парными монтажными мачтами. Мачты устанавливаются за поворотным шарниром. В этом случае оборудование поднимается до нейтрального положения в один этап, а далее с помощью тормозной оттяжки плавно опускается на фундамент в проектное вертикальное положение под действием собственной массы. Нагрузка на монтажные мачты и такелаж (полиспасты, якоря, ванты, стропы) зависит не только от массы, габаритов и расположения центра массы поднимаемого оборудования, но также и от высоты мачт и их расположения, места строповки оборудования, расположения рабочих задних вант.

В дипломном проекте необходимо произвести монтаж ректификационной колонны диаметром $D=2000$ мм, высотой $H=15570$ мм, массой аппарата $M_a=14$ тонн, на открытой площадке одной мачтой методом поворота вокруг шарнира.

Расчет такелажной оснастки:

Определим необходимую высоту мачты (м), зная расстояние от центра массы оборудования до его основания $l_{цм}=7,8$ м:

$$H_m=(1,8-3)*l_{цм}=2*7,8=15,6 \text{ м.} \quad (6.1)$$

Находим угол между полиспастом и мачтой в начальный момент подъема колонны, и назначая высоту строповки колонны:

$$l_c=2*l_{цм}=2*7,8=15,6 \text{ м, при строповке за монтажные штуцера:} \quad (6.2)$$

$$tg\beta = \frac{l_c+l_{ш}}{H_m-h_{\phi}-0.5\cdot D}, \quad (6.3)$$

где $l_{ш}$ - расстояние от оси шарнира до мачты, м $l_{ш}=4$ м;

h_{ϕ} - высота фундамента, м $h_{\phi}=1$ м;

D -диаметр аппарата, м $D=2,0$ м.

$$tg\beta = \frac{15,6+4}{15,6-1-1} = 1,441 \quad \beta = 55^\circ, \quad (6.4)$$

Находим усилие в подъемном полиспасте в начальный момент подъема при угле наклона продольной оси оборудования к горизонту $\varphi=0$:

$$P_{\Pi} = \frac{10 \cdot G_0 \cdot l_{\text{цм}}}{(H_M - h_{\phi}) \cdot \sin \beta - l_{\text{ш}} \cdot \cos \beta}, \quad (6.5)$$

где G_0 - масса аппарата, $G_0=14$ тонн.

$$P_{\Pi} = \frac{10 \cdot 14 \cdot 7,8}{(15,6 - 1) \cdot \sin 55 - 4 \cdot \cos 55} = 113 \text{ кН} \quad (6.6)$$

По усилию P_{Π} рассчитываем подъемный полиспаст.

$$P_{\Pi} = 10G_0 + 10G_3 = 10 \cdot 14 + 10 \cdot 0,6 = 146 \text{ кН}, \quad (6.7)$$

где G_3 - масса захватного устройства (траверсы), $G_3=0,6$ тонн.

Найдем усилие, действующее на неподвижный блок полиспаста:

$$P_{\text{н}} = (1,07 - 1,2) \cdot P_{\Pi},$$

где величина коэффициента учитывающего дополнительную нагрузку от усилия в сбегающей ветви полиспаста, определяется:

| Грузоподъемность полиспаста, т | До 30 | От 30 до 50 | От 50 до 200 | Более 200 |
|--------------------------------|-------|-------------|--------------|-----------|
| коэффициент | 1.2 | 1.15 | 1.1 | 1.07 |

$$P_{\text{н}} = 1,2 \cdot P_{\Pi} = 1,2 \cdot 146 = 175,2 \text{ кН}, \quad (6.8)$$

используя приложения 11 [2] подбираем оба блока по наибольшему усилию $P_{\text{н}}$ со следующими характеристиками:

условное обозначение Б-20-3

грузоподъемность 20 т

количество роликов 3

диаметр роликов 400 мм

диаметр каната 26 мм

длина полиспаста в стянутом виде 3.0 м

масса блока 278 кг

общее количество роликов $m_{\Pi} = 2 \cdot 3 = 6$

масса $G_6 = 2 \cdot 278 = 556$ кг.

Находим усилие (кН) в сбегающей ветви полиспаста:

$$S_{\Pi} = P_{\Pi} / (m_{\Pi} \cdot \eta), \quad (6.9)$$

где m_{Π} - общее количество роликов в полиспасте без учета отводных блоков;

η -коэффициент полезного действия полиспаста, с учетом двух отводных роликов по таблице 11 [2] $\eta = 0.849$.

$$S_{\Pi} = 146/10 * 0.849 = 17,2 \text{ кН.}$$

Находим разрывное усилие в сбегающей ветви полиспаста:

$$R_M = S_{\Pi} * K_3, \quad (6.10)$$

где K_3 -коэффициент запаса прочности, из условия $D/d=13-16$,

где D - диаметр ролика;

d - диаметр каната.

$$R_M = 17,2 * 5 = 86 \text{ кН}$$

По ГОСТ 7668-80 подбираем для оснастки полиспаста канат типа: ЛК-РО конструкции $6*36(1+7+7/7+14)+1_{oc}$ с характеристиками:

временное сопротивление разрыву, МПа 1568

разрывное усилие, кН 90,6

диаметр каната, мм 13,5

масса 1000м каната, кг 697

Подсчитаем длину каната (м) для оснастки полиспаста:

$$L = m_{\Pi} * (h + 3.14 * d_p) + l_1 + l_2, \quad (6.11)$$

где h - длина полиспаста в полностью растянутом виде, м;

d_p - диаметр роликов в блоках, м;

l_1 -длина сбегающей ветви от ролика блока, с которого она сходит, до барабана лебедки, м. Задаем $l_1 = 40$ м;

l_2 -расчетный запас длины каната, $l_2 = 10$ м.

$$L = 10 * (22,1 + 3.14 * 0.4) + 40 + 10 = 283,56 \text{ м.}$$

Подсчитаем суммарную массу полиспаста, т:

$$G_{\Pi} = G_6 + G_K, \quad (6.12)$$

где G_K - масса каната для оснастки полиспаста, т.

$$G_K = L * g_K / 1000, \quad (6.13)$$

где g_K - масса 1000 м. каната. $G_K = 283,56 * 697 / 1000 = 178,153 \text{ кг}$

$$G_{\Pi} = 556 + 197,64 = 0,753 \text{ т}$$

Определим усилие (кН) действующее на канат, закрепляющий неподвижный блок полиспаста:

$$P_6 = 10 * G_0 + 10 * G_3 + 10 * G_{\text{п}} + S_{\text{п}}, \quad (6.14)$$

$$P_6 = 10 * 14 + 10 * 0.6 + 10 * 0.753 + 17,2 = 171 \text{ кН.}$$

По усилию P_6 рассчитываем канат для крепления неподвижного блока полиспаста, приняв канат из 8 ветвей и $K_3=6$, разрывное усилие в каждой ветви:

$$R_K = P_6 * K_3 / 8 = 171 * 6 / 8 = 128 \text{ кН} \quad (6.15)$$

По ГОСТ 7668-80 подбираем канат типа ЛК-РО конструкции $6*36(1+7+7/7+14)+1_{\text{ос}}$, закрепляющий верхний неподвижный блок полиспаста:

временное сопротивление разрыву, МПа 1960

разрывное усилие, кН 128

диаметр каната, мм 15

масса 1000м каната, кг 812

По усилию в сбегающей ветви полиспаста подбираем электролебедку типа: Л-3003

тяговое усилие 20 кН, канатоемкость 600 м

Расчет стропа

Определим натяжение в одной ветви стропа:

$$S = P / (m * \cos \alpha), \quad (6.16)$$

где P - расчетное усилие, приложенное к стропу, без учета коэффициентов перегрузки и динамичности, кН;

m - общее количество ветвей стропа; принимаем $m=4$;

α - угол между направлением действия расчетного усилия и ветвью стропа.

$$P = 10 * G_0, \text{ следовательно,} \quad (6.17)$$

$$S = 10 * G_0 / m * \cos 45 = 10 * 14 / 4 * 0.707 = 25 \text{ кН.} \quad (6.18)$$

Находим разрывное усилие в ветви стропа:

$$R_K = S * K_3, \quad (6.19)$$

где K_3 - коэффициент запаса стропа, $K_3=6$.

$$R_K=25*6=150 \text{ кН.}$$

Находим усилие в задней рабочей ванте кН:

$$P_{рв}=P_{п}*\sin\beta/\sin\gamma, \quad (6.20)$$

где γ -угол между мачтой и рабочей вантой.

$$\operatorname{tg}\gamma=l_{я}/H_{м}, \quad (6.21)$$

$$l_{я}=(4-6)*l_{цм}=5*7,8=39 \text{ м.} \quad (6.22)$$

$$\operatorname{tg}\gamma=39/15,6=2,5,$$

$$\operatorname{ctg}\gamma=1/\operatorname{tg}\gamma=1/2,5=0,4, \gamma=68^\circ \quad (6.23)$$

$$P_{рв}=113*0,819/0,927=100 \text{ кН.}$$

По усилию $P_{рв}$ рассчитываем канат для рабочей ванты и якорь.

Определим разрывное усилие каната кН

$$R_K= P_{рв} * K_3, \quad (6.24)$$

где K_3 -коэффициент запаса прочности, $K_3=5$. $R_K=100*5=500$ кН.

По найденному разрывному усилию подбираем канат типа ЛК-РО конструкции 6*36(1 +7+7/7+14)+1 О.С.

временное сопротивление разрыву, кН 1764

разрывное усилие, кН **517,0**

диаметр каната, мм 31

масса 1000м каната, кг 3655

Расчет мачты.

По приложению X определим примерное сечение горячедеформированной трубы для монтажной мачты, по условию $H_{м}=15,6$ м; $M_a=14$ т.

Примерное сечение стальной трубы 273/10 мм

По ГОСТ 8732-78 определяем площадь сечения $F^T=82,6 \text{ см}^2$; масса одного метра $g^T=64,86 \text{ кг.}$; момент сопротивления сечения $W^T=W_{м}=525 \text{ см}^3$; радиус инерции $r^T=r_{м}=9,31 \text{ см}^2$;

Подсчитаем гибкость мачты:

$\lambda_M = 1560/9,31 = 167,6$ МПа < 180 МПа - условие выполняется!

Проверяем сечение мачты на устойчивость:

$$N/(F_M \cdot \varphi_M) \leq m \cdot R \quad , \quad (6.25)$$

$$\text{где } N = P_n \cdot K_n \cdot K_D \cdot \cos \beta + P_{pv} \cdot \cos \gamma + 10 \cdot G_M \cdot K_n + 10 \cdot G_n \cdot K_n + n \cdot P_{nv} \cdot \sin \alpha + S \quad , \quad (6.26)$$

где n - количество вант, кроме боковой, но с учетом задней;

P_{nv} - усилие первоначального натяжения нерабочих вант, кН;

S_n - усилие в сбегавшей ветви грузового полиспаста, кН;

G_n - масса полиспаста, т;

G_M - масса мачты, $G_M = 64,86 \cdot 15,6 = 1,101$ т.

$$N = 113 \cdot 1,1 \cdot 1,1 \cdot 0,574 + 100 \cdot 0,707 + 10 \cdot 1,101 \cdot 1,1 + 10 \cdot 0,734 \cdot 1,1 + 2 \cdot 8 \cdot 0,707 + 25 = 205,68$$

$$205,68 / (82,6 \cdot 0,269) \leq 0,9 \cdot 210$$

$$92,6 \text{ МПа} < 189 \text{ МПа}$$

Подсчитаем усилие в тормозной оттяжке, задаваясь высотой её крепления на оборудовании:

$$h_T = l_C = 13,4 \text{ м} \quad \alpha_T = 40^\circ$$

где α_T - угол наклона ее к горизонту.

$$P_T = \frac{10G_0 \cdot 0,6D}{h_T \cos \alpha_T} = \frac{10 \cdot 14 \cdot 0,6 \cdot 2}{13,4 \cdot 0,766} = 16,4 \text{ кН} \quad (6.27)$$

По P_T определим тормозной канат:

$$P_K = P_T \cdot K_3 \quad \text{где } K_3 = 5 \quad (6.28)$$

$$P_K = 16,4 \cdot 5 = 82 \text{ кН}$$

Выбираем канат для лебёдки типа ЛК-РО конструкции 6*36(1+7+7/7+14)+10.С. с характеристиками:

временное сопротивление разрыву, кН 1568

разрывное усилие, кН 90,6

диаметр каната, мм 13,5

масса 1000м каната, кг 697

Расчет якоря:

Определяем суммарную массу железобетонных блоков, обеспечивающих устойчивость якоря от сдвигов.

$$G=0,1(N_1/f+N_2)=0,1(77,06/0,925+77,06)*1,5=24,1\text{т}, \quad (6.29)$$

где N_1 - горизонтальная составляющая усилия N , кН;

$$N_1=N*\cos\alpha, \quad N=P_{p.v} \quad (6.30)$$

(α - угол наклона тягового каната к горизонту) $\alpha=45^\circ$;

$$N_1=100*0,707=70,7\text{ кН};$$

N_2 - вертикальная составляющая усилия N , кН.

Принимаем бетонные блоки размером 1,5/1/1,35 и массой $g=4,5\text{т}$.

Количество блоков:

$$m=G/g=24,1/4,5=5,4\text{ шт.} \quad (6.31)$$

принимаем количество блоков 6 шт.

Масса якоря:

$$G=m*g=6*4,5=27\text{ т.} \quad (6.32)$$

Принимаем размеры опорной рамы для укладки блоков в плане 4,2/5м и, зная что плечо b составляет половины длины рамы ($b=2,1\text{м}$), определим плечо a :

$$a=b*\sin\alpha=2,1*0,707=1,48\text{м.} \quad (6.33)$$

Проверим якорь на отрыв от грунта вертикальным усилием:

$$10*G*b \geq K_y*N_2*a, \quad (6.34)$$

где G - масса якоря, т;

m - количество бетонных блоков, $m = 6$;

T - сила трения заглубленного якоря о стенку котлована при $f=0,925$;

K_y - коэффициент устойчивости якоря, $K_y=1,5$.

Проверим якорь на отрыв от грунта:

$$10*27*2,1 \geq 1,5*70,7*1,48,$$

$$567 \geq 156,96$$

Полученное неравенство свидетельствует об устойчивости якоря на отрыв от грунта.

7. Средства автоматизации

В производстве получения товарного газа применяется сложная система управления, которая выполняет следующие функции :

1) Контроль текущих значений технологических параметров процесса и сигнализация их отклонений от нормальных значений;

2) Автоматическое регулирование технологических параметров процессов на оптимальном уровне посредством изменения задания регуляторами, установленных на щите в здании операторов, а также на аппаратах.

3) Автоматическая блокировка по отдельным параметрам с обеспечением безопасной эксплуатации отдельных агрегатов с отключением их из работ

Оперативное предоставление информации позволяет оператору (аппаратчику) производства эффективно выполнять несложный анализ ситуации и своевременно корректировать режим процесса путем воздействия на датчики регуляторов, уменьшая тем самым диапазон отклонений режима от регламентного (оптимального).

Использование персоналом данных информационного характера позволяет [25] :

1) Сократить продолжительность переходных процессов в объеме управления и уменьшить интервалы времени, в которых процесс ведется с отклонением от регламента, т.е. уменьшить производственные потери за счет выпуска некондиционной продукции или снижения ее сорта или предельно допустимых параметров;

2) Предотвратить аварийные режимы посредством оперативного контроля загрузки ЛГКС;

3) Стабилизировать работу компрессоров;

4) Оперативно выявлять дефекты в работе технологического оборудования;

5) Обеспечить безопасные условия эксплуатации производства (контроль содержания вредных примесей, состояние оборудования и т.д.).

Основными задачами управления производством являются:

1) Расходование минимального количества энергии при получении продуктов заданной частоты в отделении компрессии и газоразделения;

2) Обеспечение минимальных потерь целевых продуктов;

Для управления установкой организуется автоматизированная система управления технологическим процессом (АСУ ТП) с использованием средств вычислительной техники и традиционных средств КИП.

Автоматизированная система управления предназначена для оптимального управления. В ее задачу входит также автоматический сбор, передача, хранение, обработка и выдача информации человеку - оператору о технологических параметрах объектов и технико-экономических показателях производства этилена в целом и по отдельным его участкам.

АСУ ТП состоит из трех ступеней:

1) Первая ступень - это традиционные средства - обеспечивает осуществление следующих функций управления:

- Централизованный автоматический дистанционный контроль за состоянием объектов установки, включая регистрацию важнейших технологических параметров отдельных процессов;

- Пуск, останов и автоматическое ведение ТП производства;

- Автоматическая сигнализация отклонений технологических параметров от режима нормальной эксплуатации;

- Аварийная сигнализация, блокировка и защита;

- Выдача информации на электронную УВМ и прием управляющих воздействий от АСУ второй ступени управления установкой.

При проектировании АСУ в основу ее построения заложен принцип автономности первой ступени, которая обеспечивает пуск, нормальную работу и остановку установки при отключенной УВМ.

2) Вторая ступень - базируется на УВМ и реализует следующие задачи:

- Оптимизация отдельных производственных участков;
- Сбор и первичная обработка информации, получаемая от датчиков низшей ступени АСУ;
- Контроль сигнализации отдельных параметров производств;
- Вызов параметров на сигнализацию.

3) Третья ступень - выполняет функции связи с системой управления предприятия:

- Получает задание, отвечающее оптимальному плану предприятия;
- Определяет и согласовывает задание для каждого участка ГКС;
- Подсчитывает и выдает системе управления предприятием технико-экономическую информацию о результатах производственной деятельности установки за сутки, декаду, месяц;
- Инженерные расчеты, связанные с разработкой алгоритмов и программ.

Предусматриваемая проектом сигнализация отклонений технологических параметров вынесены на мнемосхему над щитом управления.

Сигналы работы компрессоров, насосов, сепараторов, электродвигателей и вентиляционных систем размещены на щитах и пультах управления.

Средства вычислительной техники АСУ ТП ЛГКС размещаются в специальных помещениях при ЦПУ.

Таблица 7.1.1 – Приборы КИПиА

| Контролируемый параметр | Название прибора | Обозначение |
|--|---|---|
| 1 | 2 | 3 |
| Температура | Термоиндикаторы | TI |
| | Карман | TW |
| | Сигнализаторы температуры | TC, TSH TSHH TSLI |
| | Датчики температуры | TT |
| | Пневматические контроллеры температуры | TE/TIC |
| Расход | Трубки ПИТО | FE |
| | Турбинные расходомеры | FIQ |
| | Расходомеры | FISL, FIT, FI |
| | Расходомер Кориолиса | FE, FT |
| | Трубки Вентури | FE |
| | Сигнализаторы расхода (диф. давление) | FSLI FSHH |
| | Вихревой расходомер | FIT |
| Давление | Манометры и датчики Перепада давления | PDIT PI, FIT, LIT |
| | Сигнализаторы давления | PSH PSHH PSL, PSLI |
| | Дифманометры и сигнализаторы давления | PDI PDISH FI |
| | Регуляторы давления прямого действия | PCV |
| | Элементы пневматических схем | HIC |
| Уровень | Уровнемеры(поплавкового типа) Пневматические регуляторы уровня Электронные датчики уровня | LC LT |
| | Уровнемеры(Магнитный тип) | LG |
| | Сигнализаторы уровня(поплавковый тип) | LSH, LSHH, LSL, LSLI |
| | Клапана | Клапана дистанционного управления (шарового типа) |
| Клапана дистанционного управления (дискового типа) | | ROV |
| Клапана дистанционного | | ROV |

| | | |
|-----------|---|-----------------------------|
| | управления (для байпаса горячего газа) | |
| | Регулирующие клапана | LV, FV, PV, PDV, TV, FV, HV |
| | Предохранительные клапана давления | PSV |
| | Селекторные клапана | ZV |
| | Предохранительные клапана/слияния вакуума(по другому дыхательные) | PSV |
| Поток | Индикаторы потока | FI |
| Влажность | Анализатор влажности | AX, AE, AT |

8. Социальная ответственность

Введение

Объектом исследования в данной работе является рабочее место оператора установки фракционирования для получения товарного газа.

На представленном рабочем месте имеется большое количество оборудования различного назначения (ректификационная колонна, теплообменники и насосы, компрессоры, специализированные станки...). Данное оборудование создает опасные и вредные факторы. Необходимо строго соблюдать технику безопасности и применять различные меры для обеспечения безопасности рабочего персонала.

В данном разделе дипломной работы проанализируем условия труда с точки зрения наличия возможности появления опасных и вредных факторов и их воздействие на работающих, рассмотрим мероприятия по технике безопасности и производственной санитарии, а также мероприятия по противопожарной профилактике на рабочем месте сотрудника предприятия, обслуживающего участок фракционирования.

Рабочим местом персонала является та зона обслуживания или ремонта, в которой персонал проводит более 50% рабочего времени.

8.1. Производственная безопасность

Перечень опасных и вредных производственных факторов, характерные для участка фракционирования представим в таблице 8.1.

Таблица 8.1 – Опасные и вредные производственные факторы при выполнении работ на рассматриваемом участке по ГОСТ 12.0.003-74

| Источник фактора, наименование видов работ | Факторы (по ГОСТ 12.0.003-74) | | Нормативные документы |
|---|---|---|---|
| | Вредные | Опасные | |
| Виды работ: 1. Контроль технологического процесса из помещения для операторов; 2. Остановка и запуск ректификационной колонны; 3. Испытания 4. Текущий ремонт и капитальный ремонт оборудования и аппаратов | 1. Недостаточная освещенность рабочей зоны; 2. Повышенный уровень шума на рабочем месте; 3. Повышенный уровень вибрации; 4. Отклонение показателей микроклимата; | 1. Движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования; 2. Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека; | 1. ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ [14] 2. ПУЭ [15] 3. Приказ №328 [16] 4. ГОСТ Р 12.1.019-2009 ССБТ [17] 5. ПОТ Р М-016-2001 [18] 6. РД 153-34.0-03.150-00 [19] 7. ГОСТ 12.2.003-91 [20] 8. СанПиН 2.2.4.548-96 [21] 9. ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ [22] 10. СНиП 41-01-2003 [23] 11. ГОСТ 12.1.003-83 ССБТ [24] 12. ГОСТ 12.1.029-80 ССБТ [25] 13. СН 2.2.4/2.1.8.556 [26] 14. СанПиН 2.2.4.1191-03 [27] 15. СП 51.13330.2011 [28] 16. ГОСТ 17.1.3.13-86 [29] 17. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03 [30] 18. ГН 2.2.5.2308-07 [31] 19. ГОСТ Р 22.0.07-95 [32] 20. ФЗ № 68-ФЗ [33] 21. ГОСТ Р 22.3.03-94 [34] 22. ФЗ №213-ФЗ [35] 23. РД 153-34.0-03.301-00 [36] 24. ПП №188 [37] 25. ФЗ №426-ФЗ [38] |

8.1.1 Анализ выявленных вредных факторов

8.1.1.1 Отклонение показателей микроклимата

Для обеспечения нормальных условий труда персонала немаловажную роль играет микроклимат, т.е. факторы производственной среды, влияющие на физическое и эмоциональное состояние человеческого организма.

Производственные процессы могут сопровождаться выделением вредных газов, паров, пыли или избыточного тепла, вследствие чего воздух в помещении претерпевает некоторые изменения, которые могут вредно отражаться на здоровье работающих.

Нормы производственного микроклимата установлены системой стандартов безопасности труда СанПиН 2.2.4.548-96 «Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений» [21].

Показателями, характеризующими микроклимат, являются:

- температура воздуха;
- относительная влажность воздуха;
- скорость движения воздуха;
- интенсивность теплового излучения.

Человек постоянно находится в процессе теплового взаимодействия с окружающей средой. Для того чтобы физиологические процессы в его организме протекали нормально, тепло должно отводиться в окружающую среду. В нормальных условиях у человека не возникает беспокоящих его тепловых ощущений – перегрева или переохлаждения.

Оптимальные показатели микроклимата распространяются на всю рабочую зону, допустимые показатели устанавливаются дифференцировано для постоянных и непостоянных рабочих мест. Оптимальные и допустимые показатели температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха в рабочей зоне, указаны в таблице 8.2 [21].

Таблица 8.2 – Оптимальные величины показателей микроклимата на рабочих местах производственных помещений по СанПиН 2.2.4.548-96

| Период года | Категория работ по уровню энергозатрат, Вт | Температура воздуха, °С | Температура поверхностей, °С | Относительная влажность воздуха, % | Скорость движения воздуха, м/с |
|-------------|--|-------------------------|------------------------------|------------------------------------|--------------------------------|
| Холодный | І6 (140-174) | 21 - 23 | 20 - 24 | 60 – 40 | 0,1 |
| Теплый | І6 (140-174) | 22 - 24 | 21 - 25 | 60 – 40 | 0,1 |

Допустимые макроклиматические условия установлены по критериям допустимого теплового и функционального состояния человека на период восьми часовой рабочей смены. Они не вызывают повреждений или нарушений состояния здоровья, но могут приводить к возникновению общих и локальных ощущений теплового дискомфорта, напряжению механизмов терморегуляции, ухудшению самочувствия и понижению работоспособности. Допустимые величины показателей микроклимата на рабочих местах должны соответствовать значениям, приведенные в таблице 8.3 [21].

Таблица 8.3 – Допустимые величины показателей микроклимата на рабочих местах производственных помещений по СанПиН 2.2.4.548-96

| Период года | Категория работ по уровню энергозатрат, Вт | Температура воздуха, °С | | Температура поверхностей, °С | Относительная влажность воздуха, % | Скорость движения воздуха, м/с | |
|-------------|--|---------------------------|---------------------------|------------------------------|------------------------------------|--|--|
| | | Диапазон ниже оптим. вел. | Диапазон выше оптим. вел. | | | Для диапазона темпер. воздуха ниже оптим. вел., не более | Для диапазона темпер. воздуха выше оптим. вел., не более |
| Холодный | І6 (140-174) | 19,0-20,9 | 23,1-24,0 | 18,0 - 25,0 | 15 - 75 | 0,1 | 0,2 |
| Теплый | І6 (140-174) | 20,0-21,9 | 24,1-28,0 | 19,0 - 29,0 | 15 - 75 | 0,1 | 0,3 |

Мероприятия по созданию условий для нормальной терморегуляции организма:

1. Механизация и автоматизация производств.
2. Теплоизоляция и экранизация.
3. Естественная и искусственная вентиляция производственных помещений.
4. Рациональный питьевой режим, кратковременные перерывы в работе, спецодежда.
5. Вентиляция и отопление.

Основной мерой борьбы с вредными веществами является применение системы вентиляции.

Нормы производственной вентиляции установлены согласно СНиП 41-01-2003 «Отопление, вентиляция и кондиционирование» [23].

На рабочем месте предусматривается искусственная приточно-вытяжная общеобменная вентиляция с расходом воздуха на одного работающего не менее $60 \text{ м}^3/\text{ч}$.

8.1.1.2 Повышенный уровень шума на рабочем месте

В производственных условиях разнообразные машины, аппараты и механизмы являются агрегатами динамически неуравновешенными. Для рассматриваемого цеха такими аппаратами являются электродвигатели, компрессоры, насосы, трубопроводы.

Длительное систематическое воздействие шума на организм человека приводит к следующим негативным последствиям:

- снижает производительность труда;
- снижает чувствительность слуха;
- возрастает количество ошибок;
- нарушает артериальное давление и ритм сердечной деятельности.

Характеристикой постоянного шума на рабочих местах являются уровни звукового давления. Для ориентировочной оценки (например, при проверке органами надзора, выявлении необходимости осуществления мер по шумоглушению и др.) допускается в качестве характеристики постоянного широкополосного шума на рабочих местах принимать уровень звука, значение которого приведено в ГОСТ 12.1.003-83 ССБТ «Шум. Общие требования безопасности» [24].

Допустимый уровень звукового давления 70 дБ в октавных полосах со среднегеометрической частотой 1000 Гц [24].

В механических устройствах часто причинами не допустимого шума являются износ подшипников, неточная сборка деталей при ремонтах и т. п.

Поэтому в процессе эксплуатации всех видов машин и механизмов следует точно выполнять все требования Правил технической эксплуатации.

ГОСТ 12.1.029-80 ССБТ. «Средства и методы защиты от шума. Квалификация» [25]. предусматривает следующие меры для снижения уровня шума:

1. Устройство кратковременных перерывов в работе.
2. Установка в помещениях звукопоглощающих конструкций и экранов.
3. Качественное изготовление деталей станков и машин.
4. Звукоизоляция ограждающих конструкций.
5. Укрытия в кожухи источников шума.
6. Применение средств индивидуальной защиты (беруши, протишумные наушники, шлемофоны и др.).

8.1.1.3. Повышенный уровень вибрации

Гигиеническое нормирование вибраций регламентирует параметры производственной вибрации и правила работы с виброопасными механизмами и оборудованием СН 2.2.4/2.1.8.556 «Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий» [26].

Физические вибрации характеризуются частотой (Гц, 1/с), амплитудой виброперемещения (м), виброскоростью и виброускорением.

Таблица 8.4 – Предельно допустимые значения вибрации рабочих мест по СН 2.2.4/2.1.8.556

| Вид вибрации: Технологическая | Среднегеометрические частоты, Гц. | | | | | |
|--|-----------------------------------|-----|-----|-----|------|-----|
| | 2 | 4 | 8 | 16 | 32,5 | 63 |
| Предельно допустимые значения виброскорости, дБ | 108 | 99 | 93 | 92 | 92 | 92 |
| Предельно допустимые значения виброускорения, дБ | 103 | 100 | 100 | 106 | 112 | 110 |

Для снижения уровня вибрации производится тщательное наблюдение за узлами оборудования, и в случае необходимости, настройка оборудования и замена изношенных частей установки, виброизоляция, применение динамических виброгасителей, уравнивание, балансировка, жесткое присоединение агрегата к фундаменту большой массы. Применение средств индивидуальной защиты:

рукавицы с прокладкой на ладонной поверхности и обувь на толстой мягкой подошве.

8.1.1.4 Недостаточная освещенность рабочей зоны

К современному производственному освещению предъявляют высокие требования гигиенического и технико-экономического характера. Правильно спроектированное и выполненное освещение обеспечивает высокий уровень работоспособности, оказывает положительное психологическое воздействие на рабочих, содействует повышению производительности труда.

Искусственное освещение в производственных помещениях должно удовлетворять нормам СП 52.13330.2011 «Естественное и искусственное освещение» [28].

Для безопасного продолжения работы или выхода людей из помещений при внезапном отключении, должно быть предусмотрено аварийное освещение. Длительное снижение напряжения у наиболее удаленной лампы не должно быть более 5%. Питание аварийного освещения должно быть надежным и от независимого источника. Для аварийного освещения должны применяться светильники, отличающиеся от светильников рабочего освещения типом или размером, или на них должны быть нанесены специальные знаки [28].

На данном рабочем месте предусмотрено четыре системы освещения: общее, аварийное, эвакуационное и ремонтное. Норма освещенности для рассматриваемого цеха приведена в таблице 8.6 [28].

Таблица 8.5 – Норма освещенности для рассматриваемого цеха по СП 52.13330.2011

| Разряд зрительной работы | Характеристика | Подразряд | Наименьший объект различения, мм | Освещённость (комбинированная система), Лк | Освещённость (общая система), Лк |
|--------------------------|------------------|-----------|----------------------------------|--|----------------------------------|
| IV | Средней точности | в | 0,5-1,0 | 400 | 200 |

Вдоль всех главных коридоров, лестничным клеткам и над пожарным краном, предусмотрены эвакуационные светильники, показывающие выход. Данные светильники оборудованы аккумуляторными батареями и приборами автоматики, так что при исчезновении напряжения в сети, автоматически включаются с помощью собственного источника питания.

Ремонтное освещение предусматривается в технических помещениях, и осуществлено переносными светильниками напряжением питания 36 В. Светильники подключаются с помощью штепсельной розетки, которая размещена в отдельном корпусе вместе с трансформатором 220/36В.

8.1.2 Анализ выявленных опасных факторов

8.1.2.1 Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека

Настоящий стандарт ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. «Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов» [14] устанавливает предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов, протекающих через тело человека, предназначенные для проектирования способов и средств защиты людей, при взаимодействии их с электроустановками производственного и бытового назначения постоянного и переменного тока частотой 50 и 400 Гц, ПУЭ [15], Приказ Министерства труда и социальной защиты РФ от 24 июля 2013 г. № 328 н «Об утверждении Правил по охране труда при эксплуатации электроустановок» [16].

В отношении опасности поражения электрическим током рассматриваемое рабочее место относится к помещению с повышенной опасностью. В цехе отсутствует токопроводящая пыль, но есть возможность одновременного прикосновения человека к металлоконструкциям здания, имеющего соединение с землей, технологическим аппаратам и механизмам с одной стороны, и к металлическим корпусам электрооборудования (открытым проводящим частям), с другой.

Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов установлены для путей тока от одной руки к другой и от руки к ногам [14].

Напряжения прикосновения и токи, протекающие через тело человека при нормальном (неаварийном) режиме электроустановки, не должны превышать значений, указанных в таблице 8.7 [14].

Таблица 8.6 – Напряжения прикосновения и токи, протекающие через тело человека при нормальном режиме электроустановки по ГОСТ 12.1.038-82

| Род тока | U, В | I, mA |
|--------------------|----------|-------|
| | Не более | |
| Переменный, 50 Гц | 2,0 | 0,3 |
| Переменный, 400 Гц | 3,0 | 0,4 |
| Постоянный | 8,0 | 1,0 |

Основные факторы, определяющие опасность поражения электрическим током:

- электрическое сопротивление тела человека;
- величина напряжения и тока;
- продолжительность воздействия электрического тока;
- условия внешней среды и состояние человека;
- род и частота электрического тока;
- пути тока через тело человека.

Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов при аварийном режиме производственных электроустановок напряжением до 1000 В с глухозаземленной или изолированной нейтралью и выше 1000 В с изолированной нейтралью не должны превышать значений, указанных в таблице 8.8 [14].

Таблица 8.7 – Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов при аварийном режиме производственных электроустановок по ГОСТ 12.1.038-82

| Род тока | Нормируемая величина | Предельно допустимые значения, не более, при продолжительности воздействия тока t, с | | | | | | | |
|-------------------|----------------------|--|-----|-----|-----|-----|-----|-----|--------|
| | | 0,1 | 0,3 | 0,5 | 0,7 | 0,8 | 0,9 | 1,0 | Св.1,0 |
| Переменный 50 Гц | U, В | 340 | 135 | 105 | 85 | 75 | 70 | 60 | 20 |
| | I, мА | 400 | 160 | 125 | 90 | 75 | 65 | 50 | 6 |
| Переменный 400 Гц | U, В | 500 | 330 | 200 | 140 | 130 | 110 | 100 | 36 |
| | I, мА | | | | | | | | 8 |
| Постоянный | U, В | 500 | 350 | 250 | 230 | 220 | 210 | 200 | 40 |
| | I, мА | | | | | | | | 15 |

Защиту человека от воздействия напряжений прикосновения и токов обеспечивают конструкция электроустановок, технические способы и средства защиты, организационные и технические мероприятия по ГОСТ Р 12.1.019-2009 [17].

Для обеспечения защиты от случайного прикосновения к токоведущим частям необходимо применять следующие способы и средства [16]:

- защитные оболочки;
- защитные ограждения (временные или стационарные);
- безопасное расположение токоведущих частей;
- изоляцию токоведущих частей (рабочую, дополнительную, усиленную, двойную);
- изоляцию рабочего места;
 - малое напряжение;
 - защитное отключение;
 - предупредительную сигнализацию, блокировку, знаки безопасности.

Для обеспечения защиты от поражения электрическим током при прикосновении к металлическим нетоковедущим частям, которые могут оказаться под напряжением в результате повреждения изоляции, применяют следующие способы [16]:

- защитное заземление;

- зануление;
- выравнивание потенциала;
- систему защитных проводов;
- защитное отключение;
- изоляцию нетоковедущих частей;
- электрическое разделение сети;
- малое напряжение;
- контроль изоляции;
- компенсация токов замыкания на землю;
- средства индивидуальной защиты.

Технические способы и средства применяют отдельно или в сочетании друг с другом так, чтобы обеспечивалась оптимальная защита.

8.1.2.2 Движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования

Безопасные условия работы обеспечиваются правильной организацией работ, постоянным надзором за работающими со стороны производителя работ и соблюдением рабочими техники безопасности и регламентируются ПОТ Р М-016-2001 [18]; РД 153-34.0-03.150-00 «Межотраслевыми правилами по охране труда (правила безопасности) при эксплуатации электроустановок» [19].

Правила распространяются на работников организаций независимо от форм собственности и организационно-правовых форм и других физических лиц, занятых техническим обслуживанием электроустановок, проводящих в них оперативные переключения, организующих и выполняющих строительные, монтажные, наладочные, ремонтные работы, испытания и измерения [19].

На данном рабочем месте большая доля вероятности получить механическую травму, так как используется большое количество оборудования. При необходимости принимаются меры для уменьшения

вероятности травмирования персонала - предупредительные плакаты, ограждения, сигнализация [19].

Настоящий стандарт ГОСТ 12.2.003-91 [20] распространяется на производственное оборудование, применяемое во всех отраслях народного хозяйства, и устанавливает общие требования безопасности, являющиеся основой для установления требований безопасности в стандартах, технических условиях, эксплуатационных и других конструкторских документах на производственное оборудование конкретных групп, видов, моделей (марок).

Каждый технологический комплекс и автономно используемое производственное оборудование должны укомплектовываться эксплуатационной документацией, содержащей требования (правила), предотвращающие возникновение опасных ситуаций при монтаже (демонтаже), вводе в эксплуатацию и эксплуатации [20].

Материалы конструкции производственного оборудования не должны оказывать опасное и вредное воздействие на организм человека на всех заданных режимах работы и предусмотренных условиях эксплуатации, а также создавать пожаровзрывоопасные ситуации [20].

Части производственного оборудования (в том числе трубопроводы гидро-, паро-, пневмосистем, предохранительные клапаны, кабели и др.), механическое повреждение которых может вызвать возникновение опасности, должны быть защищены ограждениями или расположены так, чтобы предотвратить их случайное повреждение работающими или средствами технического обслуживания [20].

Полное или частичное прекращение энергоснабжения и последующее его восстановление, а также повреждение цепи управления энергоснабжением не должны приводить к возниканию опасных ситуаций, в том числе:

- самопроизвольному пуску при восстановлении энергоснабжения;
- невыполнению уже выданной команды на останов;

- падению и выбрасыванию подвижных частей производственного оборудования и закрепленных на нем предметов (например, заготовок, инструмента и т.д.);

- снижению эффективности защитных устройств.

Требования к средствам защиты, входящим в конструкцию, и сигнальным устройствам [20].

Конструкция средств защиты должна обеспечивать возможность контроля выполнения ими своего назначения до начала и (или) в процессе функционирования производственного оборудования.

Средства защиты должны выполнять свое назначение непрерывно в процессе функционирования производственного оборудования или при возникании опасной ситуации.

Действие средств защиты не должно прекращаться раньше, чем закончится действие соответствующего опасного или вредного производственного фактора.

Отказ одного из средств защиты или его элемента не должен приводить к прекращению нормального функционирования других средств защиты.

Производственное оборудование, в состав которого входят средства защиты, требующие их включения до начала функционирования производственного оборудования и (или) выключения после окончания его функционирования, должно иметь устройства, обеспечивающие такую последовательность.

Конструкция и расположение средств защиты не должны ограничивать технологические возможности производственного оборудования и должны обеспечивать удобство эксплуатации и технического обслуживания.

Сигнальные устройства, предупреждающие об опасности, должны быть выполнены и расположены так, чтобы их сигналы были хорошо различимы и слышны в производственной обстановке всеми лицами, которым угрожает опасность.

Части производственного оборудования, представляющие опасность, должны быть окрашены в сигнальные цвета и обозначены соответствующим знаком безопасности в соответствии с действующими стандартами.

8.2. Экологическая безопасность

При подготовке газа и газового конденсата на газодобывающих предприятиях влияние на окружающую среду определяется воздействием вредных веществ попадающих в атмосферу и гидросферу, использованием земельных ресурсов, нарушением природных ландшафтов.

Мероприятия по экологической безопасности регламентируются ГОСТ 17.1.3.13-86. «Охрана природы. Гидросфера. Общие требования к охране поверхностных вод от загрязнений» [29], СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03. «Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и иных объектов» [30], ГН 2.2.5.2308-07. «Ориентировочна безопасный уровень воздействия (ОБУВ) вредных веществ в воздухе рабочей зоны» [31].

Для работающих на промышленных предприятиях, непосредственной окружающей средой является воздух рабочей зоны.

Для предприятия устанавливается санитарно-защитная зона в соответствии с санитарной классификацией предприятия, 1000 м [30]. Охрана окружающей среды на предприятии предусматривает мероприятия предотвращающие загрязнение воздушного бассейна. Возможными источниками загрязнения атмосферы являются:

- ректификационная колонна,
- вакуум-насосы поз.Н6 процесса ректификации,
- сальники насосов,
- воздушки от аппаратов,
- факельная установка,

Абсорбционные газы с верха колонны поз.К1 при стабильном ведении процесса получения товарного газа подаются на установку термического обезвреживания в водогрейные котлы КВГМ-10-150, где сгорают с выделением тепла. Избыток выхлопных газов с узла абсорбции при работе и при аварии сжигается на факельной установке.

При остановке УТО в течение продолжительного времени возможно

сжигание абсорбционных газов на факеле.

При пуске в атмосферу выбрасывается воздух с парами метанола. При остановке технологической нитки абгазы выбрасываются в атмосферу в течение 0,5 часа.

Инертные газы, содержащие метанол, от вакуум-насосов поз.Н6/1-2 направляются в верхнюю часть колонны поз.К1 и далее на сжигание.

Загрязнение воздуха от сальников насосов уменьшается ввиду использования герметичных насосов и насосов с двойным торцевым уплотнением.

Ко всем аппаратам с метанолом подведено "азотное дыхание", которое объединяются в общий коллектор и направляется на сжигание.

На складе товарного газа выбросы от "дыхания" емкостей, при приеме и перекачивании газа, и выбросы с наливной эстакады при заполнении железнодорожных цистерн очищаются частично в ловушках.

Сточные воды от производства товарного газа, образующиеся при опорожнении промывке насосов, перед ремонтом собираются в подземную емкость и по мере заполнения перекачиваются азотом в стандартизатор и далее в процесс.

Сточные воды от смыва полов через приямок у II технологической нитки направляются в химически загрязненную канализацию.

Ливневые стоки с отметок наружной установки через приямки технологических ниток направляются в ливневую канализацию.

Стоки от каталитического отделения после предварительной нейтрализации растворенной азотной кислоты через подземную емкость направляются в химически загрязненную канализацию.

Стоки от продувки водогрейных котлов, содержащие соли жесткости (Na_2CO_3 , CaCO_3 , MgCO_3) направляются в ливневую канализацию.

Твердых отходов в производстве товарного газа нет [30].

8.3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях

8.3.1. Чрезвычайные ситуации. Основные причины и ликвидация последствий

Мероприятия по безопасности и защите населения и территорий регламентируются ГОСТ Р 22.0.07-95 «Безопасность в ЧС. Источники техногенных ЧС. Классификация и номенклатура поражающих факторов и их параметров» [32], ФЗ от 21.12.1994 г. № 68-ФЗ «О защите населения и территорий от ЧС природного и техногенного характера» [33], ГОСТ Р 22.3.03-94. «Безопасность в ЧС. Защита населения. Основные положения» [34].

К чрезвычайным ситуациям относятся военные действия, аварии, катастрофы, пожары, стихийные бедствия. К стихийным бедствиям обычно относят землетрясения, наводнения, селевые потоки, оползни и др. [32].

Основные причины возникновения чрезвычайных ситуаций:

- результат стихийных бедствий;
- воздействие внешних природных факторов, приводящих к старению материалов;
- технико-производственные дефекты сооружений;
- нарушение правил эксплуатации сооружений и технологических процессов;
- нарушение правил техники безопасности при ведении работ и во время технологических процессов.

Для повышения устойчивости к ЧС предусмотрены различные меры [33]:

1. Для обеспечения бесперебойной работы в случае ЧС предусмотрены резервные источники питания.

2. В целях снижения опасности взрыва применяют вентиляционные установки, автоматическая сигнализация, системы контроля температура,

давления, загазованности. Установлена радиоточка для оповещения людей о пожаре или другой ЧС.

3. От прямых ударов молнии установлена молниезащита.

Молниеприемниками служат неизолированные стержневые молниеотводы. В качестве токоотводов используют наружные вертикальные стальные конструкции (пожарные лестницы). По каждому этажу проложены стальные пояса из полосовой стали, к которым присоединяются токоотводы, все металлические конструкции и оборудование. Каждый токоотвод такого устройства присоединен к замкнутому контуру, уложенному по периметру здания.

4. В качестве профилактики от сезонных вспышек вируса гриппа регулярно проводится вакцинация работающих.

5. Для снижения вероятности пожара предусмотрена автоматическая пожарная сигнализация. На случай возникновения пожара предусмотрены первичные средства пожаротушения.

6. Для обеспечения огнестойкости здания и сооружения выполняют из железобетона. В целях уменьшения разрушения все основное оборудование расположено на открытой площадке на фундаментах. Компоновка выбрана так, что аппараты с веществами, представляющими наибольшую опасность, расположены на максимальном расстоянии от места нахождения персонала.

Ликвидация последствий стихийных бедствий организуется, как правило, под руководством специально создаваемых чрезвычайных комиссий. Для непосредственного осуществления мероприятий гражданской обороны (ГО) и проведения спасательных и неотложных аварийно-восстановительных работ на всех объектах формируются службы ГО.

На сводные отряды, помимо спасения людей, возлагаются неотложные аварийно-восстановительные работы, тушение пожаров, обеззараживание участков местности, транспорта, техники.

Важным условием быстрой ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций является соблюдение общественного порядка. Персонал,

находящийся на территории предприятия должен проявлять высокую дисциплину, организованность, спокойствие, не поддаваться панике. Для этого на предприятии несколько раз в году производятся теоретическая подготовка и практические тренинги.

8.3.2. Пожары

Основы противопожарной защиты определяются Федеральным законом от 22 июля 2008 г. N 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» [35].

Основной причиной пожаров на предприятиях является нарушение технологического режима. Пожарная опасность установки фракционирования обусловлена наличием горючие газов, легковоспламеняющихся жидкостей.

На предприятии на основе типовых правил пожарной безопасности для промышленных предприятий разрабатываются объектовые и цеховые противопожарные инструкции. Ответственность за соблюдения необходимого противопожарного режима и своевременное выполнение противопожарных мероприятий возлагается на начальника цеха.

Установка фракционирования относится к категории повышенной взрывопожароопасности (А) по НПБ 105-03 «Определение категорий, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности».

Пожарная техника в зависимости от назначения и области применения подразделяется на следующие типы [35]:

- 1) первичные средства пожаротушения;
- 2) мобильные средства пожаротушения;
- 3) установки пожаротушения;
- 4) средства пожарной автоматики;
- 5) пожарное оборудование;
- 6) средства индивидуальной защиты и спасения людей при пожаре;
- 7) пожарный инструмент (механизированный и немеханизированный);

8) пожарные сигнализация, связь и оповещение.

Для локализации небольших загораний обслуживающий персонал до прибытия передвижных средств пожаротушения должен использовать первичные средства пожаротушения, находящиеся на пожарных щитах. Первичные средства размещаются вблизи мест наиболее вероятного их применения, на виду, в безопасности при пожаре месте, с обеспечением к ним свободного доступа.

В помещении цеха устанавливается пожарный инвентарь, согласно РД 153-34.0-03.301-00 [36] такие первичные средства пожаротушения, как:

- химические пенные огнетушители типа ОП-5;
- воздушно-пенные высоко-кратной пены типа ОВП-5, ОВП-10;
- ящик с песком;
- ведра;
- лопаты и багор;
- войлок, асбест, кошма.

На предприятии используется система автоматической пожарной безопасности, основанная на датчиках различных видов (дымовые, тепловые, датчики пламени). В случае возникновения пожара, срабатывает система оповещения, подается световой и звуковой сигнал об опасности.

На площадках предприятия устанавливаются пожарные щиты, оснащенные первичными средствами пожаротушения.

Запрещено курение в неустановленных местах и производство огневых работ в пожароопасных помещениях.

8.4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Под вредными условиями труда следует понимать присутствие на производстве таких факторов, которые наносят ущерб здоровью работников. То есть на рабочих местах не соблюдены определенные гигиенические требования, что может оказывать отрицательное воздействие на дееспособность служащих, а также на здоровье их возможных детей.

Работникам предприятия приходится часто выполнять различные операции, сопряженные с прямым риском здоровью (вредные условия труда). Какие сферы деятельности и специальности связаны с вредными условиями труда, указывается в Постановлении Правительства РФ от 29.03.2002 г. №188 «Об утверждении списков производств, профессий и должностей с вредными условиями труда, работа в которых дает право гражданам, занятым на работах с химическим оружием, на меры социальной поддержки» [37], Федеральный закон РФ от 28.12.2013 г. №426-ФЗ «Об специальной оценке условий труда» [38].

Люди, работающие на вредных производствах, обеспечиваются льготами и компенсациями, Трудовой кодекс РФ, ст. 165 «Случаи предоставления гарантий и компенсаций».

Компенсация за вредные условия труда и ее размер устанавливаются на основании статей Трудового кодекса, коллективного договора или иных внутренних документов предприятия.

Грамотная социальная политика - ключ к успеху предприятия, ведь эффективность работы напрямую зависит от эмоционального комфорта и позитивного настроения коллектива.

Эффективная социальная политика и ответственные, партнерские отношения со своими работниками, являются важнейшими факторами долгосрочного устойчивого развития компании. Максимальная безопасность производства и забота о благосостоянии сотрудников были и остаются основными составляющими социальных программ.

Ежегодно на социальные программы предприятие выделяет средства.

Сюда входит:

- организация санаторно-курортного лечения, оздоровление работников и их детей;
- оказание медицинских услуг;
- развитие корпоративного спорта и культурно-массовой деятельности;
- материальное поощрение работников к юбилеям и знаменательным датам;
- материальная помощь работникам, нуждающимся в дополнительной социальной поддержке;
- единовременные компенсационные выплаты увольняющимся работникам в связи с выходом на пенсию;
- пенсионные социальные программы, предусматривающие досрочное оформление пенсии работникам;
- выплаты ежеквартальной материальной помощи для частичного покрытия расходов по квартплате, коммунальным услугам, приобретению угля на зимний период, а также единовременной материальной помощи на оплату медикаментов и т.д.

Сотрудники предприятия имеют ряд социальных гарантий, а также спектр финансовых льгот, таких как социальное страхование, кредитование, материнские выплаты. Предусмотрено бесплатное обучение в ВУЗах, регулярное повышение квалификации.

9. Анализ эффективности действующего производства

9.1 Расчёт производственной мощности

Расчет производственной мощности для непрерывного производства производится по формуле : [10]

$$M = P_{\text{час}} * T_{\text{эф.}} * K_{\text{об.}}, \quad (9.1.1)$$

где $P_{\text{час}}$ – часовая производительность, кг/ч;

$T_{\text{эф}}$ – эффективный фонд времени работы оборудования, ч;

$K_{\text{об}}$ – количество однотипного оборудования.

Определим эффективный фонд времени оборудования:

$$T_{\text{эф}} = T_{\text{ном.}} - T_{\text{ппр}}, \quad (9.1.2)$$

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

$T_{\text{ппр}}$ – время простоя в ремонтах за расчетный период,

Производство имеет непрерывный характер, поэтому

$$T_{\text{ном.}} = T_{\text{кал}} - T_{\text{во}}; \quad (9.1.3)$$

где $T_{\text{во}}$ – время внеплановых остановок.

$$T_{\text{ппр}} = 69 \text{ дн.} (1656 \text{ ч.}), T_{\text{во}} = 7,5 \text{ дн.} (180 \text{ ч.}),$$

$$T_{\text{ном.}} = T_{\text{кал}} - T_{\text{во}} = 357,5 \text{ дн.} (8580 \text{ ч.});$$

$$\text{Т.о., } T_{\text{эф}} = 8760 - 1656 - 180 = 6924 \text{ ч.}$$

Полученные данные оформляем в виде таблицы.

Таблица 9.1. Баланс рабочего времени оборудования

| Показатели | Количество дней (часов) |
|--|-----------------------------|
| Календарный фонд времени, $T_{\text{кал}}$ | 365 (8760) |
| Режимные потери рабочего времени <ul style="list-style-type: none">• выходные• праздники• внеплановые остановки производства, $T_{\text{во}}$ | 0 (0) 0 (0) 7,5 (180) |
| Номинальный фонд рабочего времени, $T_{\text{ном.}}$ | 357,5 (8580) |
| Простой оборудования в ремонтах, $T_{\text{ппр}}$ | 69 (1656) |
| Эффективное время работы оборудования за год, $T_{\text{эф}}$ | 288,5 (6924) |

Коэффициент экстенсивного использования оборудования равен

$$K_{\text{экс}} = T_{\text{эф}} / T_{\text{ном}} \quad (9.1.4)$$

Где $K_{\text{экс}}$ - коэффициент экстенсивности;

$T_{\text{эф}}$ - эффективное время работы оборудования, оборудования, ч.;

$T_{\text{ном}}$ - календарный фонд времени работы оборудования, ч.

$$K_{\text{экс}} = 6924 / 8580 = 0,806$$

Коэффициент интенсивного использования оборудования равен

$$K_{\text{инт}} = Q_{\text{пп}} / Q_{\text{max}} \quad (9.1.5)$$

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

$$K_{\text{инт}} = 0,17 / 0,173 = 0,98$$

Интегральный коэффициент использования мощности:

$$K_{\text{им}} = 0,806 * 0,98 = 0,79$$

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

$$N_{\text{год}} = K_{\text{им}} * M \quad (9.1.6)$$

$$N_{\text{год}} = 1177 * 0,79 = 929,83 \text{ (млн. м}^3\text{/год)}$$

9.2. Расчет себестоимости готовой продукции по действующему производству

Расчета годового фонда заработной платы цехового персонала

На установке фракционирования ЛГКС ввиду непрерывности производства работа осуществляется посменно. Продолжительность смены – 12 часов, число смен – 2, бригад – 4.

Таблица 9.2. Расчет численности персонала основных рабочих

| Категория персонала | Норма обслуживания | Число смен в сутки | Число единиц оборудования | Явочная численность | Эффективное время рабочего | Коэффициент перехода | Списочная численность |
|-------------------------|--------------------|--------------------|---------------------------|---------------------|----------------------------|----------------------|-----------------------|
| | $H_{\text{обс}}$ | S | n | $H_{\text{яв}}$ | $T_{\text{эфф}}$ | $K_{\text{пер}}$ | $H_{\text{сп}}$ |
| Основные рабочие | 7 | 2 | 7 | 4 | 1734 | 4 | 16 |
| Вспомогательные рабочие | 7 | 2 | 7 | 2 | 1734 | 4 | 8 |
| МОП | 2 | 1 | 2 | 1 | 1734 | 4 | 4 |
| Итого | | | | | | | 28 |

Таблица 9.3. Расчет численности ИТР, служащих и МОП

| Наименование должности | Категория | Тарифный разряд | Число штатных единиц | Количество смен в сутках | Штатная численность |
|------------------------|-----------|-----------------|----------------------|--------------------------|---------------------|
| Начальник цеха | ИТР | 14 | 1 | 1 | 1 |
| Мастер | ИТР | 11 | 2 | 1 | 2 |
| Технолог | ИТР | 13 | 2 | 1 | 2 |
| Начальник отд. | ИТР | 11 | 1 | 1 | 1 |
| Итого | | | | | 6 |

Таблица 9.4. Баланс эффективного времени одного среднесписочного работника

| №№ п/п | Показатели | Дни | Часы |
|-----------|--|-------|------|
| 1. | Календарный фонд рабочего времени, Ткал | 365 | 4380 |
| 2. | Выходные дни | 182,5 | 2190 |
| 3. | Номинальный фонд рабочего времени, Тномр | 182,5 | 2190 |
| 5. | Эффективный фонд рабочего времени, Тэфр | 144,5 | 1734 |

Таблица.9.5. График сменности рабочих

| Смена | Время | Дни месяца | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----------------|-------|------------|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 |
| 1 | 8-20 | А | А | Г | Г | В | В | Б | Б | А | А | Г | Г | В | В | Б | Б | А | А | Г | Г | В | В | Б | Б | А | А | Г | Г | В | В | Б |
| 2 | 20-8 | В | Б | Б | А | А | Г | Г | В | В | Б | Б | А | А | Г | Г | В | В | Б | Б | А | А | Г | Г | В | В | Б | Б | А | А | Г | Г |
| Отсы- п-ной | | Б | В | А | Б | Г | А | В | Г | Б | В | А | Б | Г | А | В | Г | Б | В | А | Б | Г | А | В | Г | Б | В | А | Б | Г | А | В |
| Выхо- д-ной | | Г | Г | В | В | Б | Б | А | А | Г | Г | В | В | Б | Б | А | А | Г | Г | В | В | Б | Б | А | А | Г | Г | В | В | Б | Б | А |

9.3. Организация оплаты труда

В нефтегазодобывающем управлении (НГДУ) оплата труда рабочих повременно-премиальная, на основе часовых тарифных ставок, установленных и утвержденных на предприятии, присвоенных квалификационных разрядов (семнадцатиразрядная сетка) и фактически отработанного времени.

Труд руководителей, специалистов и служащих оплачивается согласно установленной разрядной таблицы за фактически отработанное время.

Рабочим руководителям и специалистам работа в ночное время оплачивается в повышенном размере на 40% и в вечернее время на 20%. Компенсационная доплата выплачивается в размере 10% за тяжелые условия труда.

Работа в праздничные дни оплачивается работникам, труд которых оплачивается по часовым тарифным ставкам - в размере двойной часовой тарифной ставки.

Тарифный фонд заработной платы рассчитывается на основе тарифной сетки (таблица 9.6)

Таблица 9.6 – Штатное расписание ЛГКС НГДУ

| Наименование | Категория | Кол. шт.ед. | Т/ставка (руб/час) |
|---------------------------------|-----------|-------------|--------------------|
| Инженерно-технические работники | ИТР | 6 | 180 |
| Основные рабочие | ОР | 16 | 160 |
| Вспомогательные рабочие | ВР | 8 | 140 |
| Младший обслуживающий персонал | МОП | 4 | 120 |
| Итого по ЛГКС | | 34 | |

Для примера приведен расчет месячной заработной платы основных рабочих (16 человек).

Заработная плата рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{осн} = Z_{тар} + D_{ноч} + D_{празд} + D_{прем} + D_{р.к.} + D_{усл.тр} \quad (9.3.1)$$

где $Z_{тар}$ - тарифная ЗП, руб.;

$D_{ноч}$ - доплата за работу в ночное время, руб.;

$D_{празд}$ - доплата за работу в праздничные дни, руб.;

$D_{прем}$ - премиальная ЗП, руб.;

$D_{р.к.}$ - районный коэффициент, руб.;

$D_{усл.тр}$ - компенсационная доплата за условия труда, руб.; Тарифная

заработная плата рассчитывается:

$$Z_{тар} = T_{ст} * T_{фак} * H, \quad (9.3.2)$$

где $T_{ст}$ - тарифная ставка данной категории рабочих, руб./ч.;

$T_{фак} = 192$ ч.;

H - количество рабочих данной категории, человек;

$Z_{тар} = 160 * 194 * 16 = 496640$ (руб.)

Доплата за работу в ночное время [20]:

$$D_{ноч} = 0,4 * T_{ст} * T_{ноч} * H, \quad (9.3.3)$$

где $T_{ст}$ - почасовая тарифная ставка, руб.;

$D_{ноч} = 0,4 * 496640 = 198656$ (руб.) Доплата в праздничные дни:

$$D_{празд} = T_{празд} * T_{ст} * 2 * H; \quad (9.3.4)$$

где $T_{празд}$ - количество часов, отработанное в праздники, ч;

(1 и 9 мая - $T_{празд} = 24$ часа)

$D_{празд} = 24 * 160 * 2 * 16 = 122880$ (руб.)

Премиальная ЗП:

$$D_{прем} = Z_{тар} * Прем / 100 \% \quad (9.3.5)$$

где $Z_{тар}$ - тарифная ЗП, руб.;

Прем - Премииальные, % за май 2016 года Прем = 20%, т.к. станция не действующая.

$D_{прем} = 496640 * 20 / 100 = 99328$ (руб.)

Компенсационная доплата за тяжелые условия труда:

$$D_{усл.тр} = Z_{тар} * 10 : 100, \quad (9.3.6)$$

$D_{усл.тр} = 496640 * 0,1 = 49664$ (руб.)

$$Z_{осн} = 496640 + 198656 + 122880 + 99328 + 49664 = 967168 \text{ (руб)}$$

Итак основная ЗП 16 основных рабочих с учетом районного коэффициента за май месяц составит:

$$Z = 967168 \cdot 1,3 = 1257318,4$$

$$ZП = Z_{осн} + Z_{доп}, \quad (9.3.7)$$

где $Z_{осн}$ - основная ЗП, руб.;

$Z_{доп}$ - дополнительная ЗП, руб.;

$$Z_{доп} = Z_{осн} * K : T_{каль} \quad (9.3.8)$$

где K - число законных невыходов, дней;

$T_{кал}$ - календарный фонд работы одного среднесписочного рабочего, дней;

$$Z_{доп} = 1257318,4 * 48 : 365 = 165345,98 \text{ (руб)}$$

ЗП 16 основных рабочих за месяц составит:

$$ZП = 165345,98 + 1257318,4 = 1422664,38 \text{ (руб)}$$

Аналогично производится расчет месячного фонда ЗП всех работающих на заводе. Месячный и годовой фонд ЗП представлен в таблице 9.7

Таблица 9.7. Месячный и годовой фонд ЗП

| № | Наименование | Численность, чел | МФЗП, руб | ГФЗП, руб. |
|---|---------------------------------------|------------------|------------|------------|
| 1 | Инженерно-технические работники (ИТР) | 6 | 499526,4 | 5994317 |
| 2 | Основные рабочие (ОР) | 16 | 1422664,38 | 17071973 |
| 3 | Вспомогательные рабочие (ВСР) | 8 | 607345 | 7288140 |
| 4 | Младший обслуживающий персонал (МОП) | 4 | 260291 | 3123492 |
| 5 | Итого по ЛГКС | 34 | | 33477922 |

9.4. Расчет затрат на производство продукции

Расчет годовой потребности в сырье и материалах

Определение затрат на сырье и материалы производим исходя из принятого объема производства, удельных норм расхода сырья и материалов и планово-заготовительных цен.

Таблица 9.8. Расчет годовой потребности в сырье и материалах

| Наименование сырья | Ед. изм. | Цена, руб | Расход | | Затраты, тыс.руб. | |
|--------------------|----------------|-----------|------------------------------|----------------------------|------------------------------|----------------------------|
| | | | На единицу готовой продукции | На весь объем производства | На единицу готовой продукции | На весь объем производства |
| Алюминосиликат | тн | 26137 | 0,00027 | 251,054 | 0,00705699 | 6561,80101 |
| Метанол | тн | 13431 | 0,00097 | 901,935 | 0,01302807 | 12113,889 |
| Термолан | тн | 30578 | 0,00157 | 1459,83 | 0,04800746 | 44638,6817 |
| Ингибитор ИКБ-2-2 | тн | 9240 | 0,0055 | 5114,07 | 0,05082 | 47254,0068 |
| Натр едкий | тн | 19232 | 0,01286 | 11957,6 | 0,24732352 | 229968,563 |
| Пар собственный | гКал | 83,96 | 3 | 2789490 | 0,25188 | 234205,58 |
| Азот | м ³ | 236 | 0,048 | 44631,8 | 0,011328 | 10533,1048 |
| Газ природный | м ³ | 87,4 | 0,251 | 233387 | 0,0219374 | 20398,0238 |
| Дем. Вода | м ³ | 15400 | 0,0095 | 8833,39 | 0,1463 | 136034,206 |
| Сжатый воздух | м ³ | 2,8 | 0,09 | 83684,7 | 0,000252 | 234,31716 |
| Итого | | | | | 0,7979 | 741942,174 |

Расчет годовой потребности в электроэнергии

Таблица 9.9. Расчет потребности в электроэнергии

| Наименование оборудования | Суммарная мощность, кВт | Эффективный фонд времени оборудования, ч | Суммарно-потребляемая электроэнергия, кВт*ч |
|---------------------------|-------------------------|--|---|
| Оборудование | 35,4 | 6924 | 244739,8 |
| Освещение | 14,8 | 6924 | 102475,2 |
| Итого | | | 347215 |

Таблица 9.10. Расчет амортизационных отчислений

| Наименование основных средств | Стоимость, тыс.руб. | Норма амортизации, % | Годовые амортизационные отчисления, тыс.руб. |
|-------------------------------|---------------------|----------------------|--|
| Здания | 134965 | 4 | 5398,6 |
| Сооружения | 18602,28 | 4 | 744,0912 |
| Передаточное устройство | 17073,33 | 14 | 2390,266 |
| Машины и оборудование | 42833,9 | 12 | 5140,068 |
| Приборы КИПиА | 3984,55 | 11 | 438,3005 |
| Инструменты и инвентарь | 14200,25 | 14 | 1988,035 |
| Итого | | | 16099,36 |

9.5. Расчет себестоимости.

Таблица 9.11. Калькуляция себестоимости на производство и реализацию продукции при заданном объеме производства Q=929830

| Статьи калькуляции | Ед. изм. | Выпуск, тыс. м/год | Затраты на единицу продукции | Затраты на весь объем |
|---|----------|--------------------|------------------------------|-----------------------|
| 1.1 Сырье и материалы | тыс.руб. | 929830 | 0,7979 | 741942,174 |
| 1.2 Энергоресурсы | тыс.руб. | 929830 | 1,587025 | 1475663,75 |
| 2. ЗП (основная и дополнительная) основных рабочих | тыс.руб. | 929830 | 0,01836 | 17071,973 |
| 3. Отчисления на социальные нужды от ЗП основных раб. | тыс.руб. | 929830 | 0,005508 | 5121,5919 |
| 4. Расходы на содержание и эксплуатацию оборудования | | | | |
| 4.1. Амортизационные отчисления от произв. оборудования | тыс.руб. | 929830 | 0,00857 | 7968,6345 |
| 4.2. Эксплуатация оборудования | | | | |
| 4.2.1. ЗП вспомогательных рабочих | тыс.руб. | 929830 | 0,007838 | 7288,14 |
| 4.2.2. Отчисления от ЗП вспомогательных рабочих | тыс.руб. | 929830 | 0,002351 | 2186,442 |
| 4.3. Текущий ремонт оборудования | тыс.руб. | 929830 | 0,002902 | 2698,535 |
| 4.4. Капитальный ремонт оборудования | тыс.руб. | 929830 | 0,003777 | 3512,379 |
| 5. Цеховые расходы | | | | |
| 5.1. ЗП инженерно—технических работников | тыс.руб. | 929830 | 0,006447 | 5994,317 |
| 5.2. Отчисления от ЗП ИТР | тыс.руб. | 929830 | 0,001934 | 1798,2951 |
| 5.3. Амортизация зданий, сооружений и инвентаря | тыс.руб. | 929830 | 0,008744 | 8130,7262 |
| 5.4. Содержание зданий, сооружений и инвентаря | | | | |
| 5.4.1. ЗП младшего обслуживающего персонала | тыс.руб. | 929830 | 0,003359 | 3123,492 |
| 5.4.2. . Отчисления от ЗП МОП | тыс.руб. | 929830 | 0,001008 | 937,0476 |
| 5.5. Текущий ремонт зданий, сооружений и инвентаря | тыс.руб. | 929830 | 0,006247 | 5808,768 |
| 5.6. Капитальный ремонт зданий, сооружений и инвентаря | тыс.руб. | 929830 | 0,011657 | 10839,159 |
| 5.7. Охрана труда | | | | |
| 5.7.1. Спецмолоко | тыс.руб. | 929830 | 0,00015 | 139,065 |
| 5.7.2. Пожарный инвентарь (огнетушители) | тыс.руб. | 929830 | 4,09*10 ⁻⁵ | 38 |
| 5.7.3. Аптечка | тыс.руб. | 929830 | 1,59*10 ⁻⁶ | 1,474 |
| Итого цеховая себестоимость | тыс.руб. | | 2,4738 | 2300263,963 |
| 6. Общепроизводственные расходы | | | | |
| 6.1. Общезаводские расходы | тыс.руб. | 929830 | 0,6679 | 621071,2701 |
| 6.2. Затраты на отопление | тыс.руб. | 929830 | 0,0020 | 1880,993 |
| 6.3. Аренда производственных помещений | тыс.руб. | 929830 | 0,0325 | 30177,632 |
| Итого заводская себестоимость | тыс.руб. | 929830 | 3,1762 | 2953393,858 |
| 7. Коммерческие расходы | тыс.руб. | | | |
| 7.1. Коммерческие расходы | тыс.руб. | 929830 | 0,031763 | 29533,9386 |
| Итого полная себестоимость | тыс.руб. | 929830 | 3,208036 | 2982927,79 |
| Условно-переменные издержки | тыс.руб. | 929830 | 2,44059 | 2269333,42 |
| Условно-постоянные издержки | тыс.руб. | 929830 | 0,767446 | 713594,369 |

Определение цены готовой продукции

Цену продукта определяем по формуле:

$$Ц = C*(1+P/100),$$

где С – полная себестоимость единицы готовой продукции;

Р – рентабельность продукции (%).

Рентабельность продукции можно принять от 10% до 25%.

$$Ц=3,208036*(1+20/100)=3,8496 \text{ тыс. рублей}$$

9.6. Анализ безубыточности по действующему производству

Цель анализа – определение **точки безубыточности**, т.е. минимального объема продаж, начиная с которого предприятие не несет убытков. В точке безубыточности выручка от продажи продукции ($V_{пр}$) равна общим затратам на производство и реализацию продукции:

$$V_{пр} = \text{Изд.}_{\text{пост}} + \text{Изд.}_{\text{пер}} = 2269333,42 + 713594,369 = 2982927,79 \text{ тыс. руб.}$$

Определение точки безубыточности:

1. *Аналитическим* способом:

$$Q_{кр.} = \frac{\text{Изд.}_{\text{пост}}}{Ц_{1ГП} - \text{Изд.}_{\text{пер}1ГП}}, \text{ тыс. м}^3,$$

$$Q_{кр.} = 713594,369 / (3,8496 - 2,44059) = 506451 \text{ тыс. м}^3.$$

Где $Ц_{1ГП}$ – цена единицы готовой продукции (1 тонны);

$\text{Изд}_{1ГП}$ - удельные переменные издержки (переменные издержки на единицу готовой продукции – 1 тыс. м³).

2. *Графическим* способом:

Графически точка безубыточности определяется согласно рис. 1.

Рис. 9.1. График безубыточности

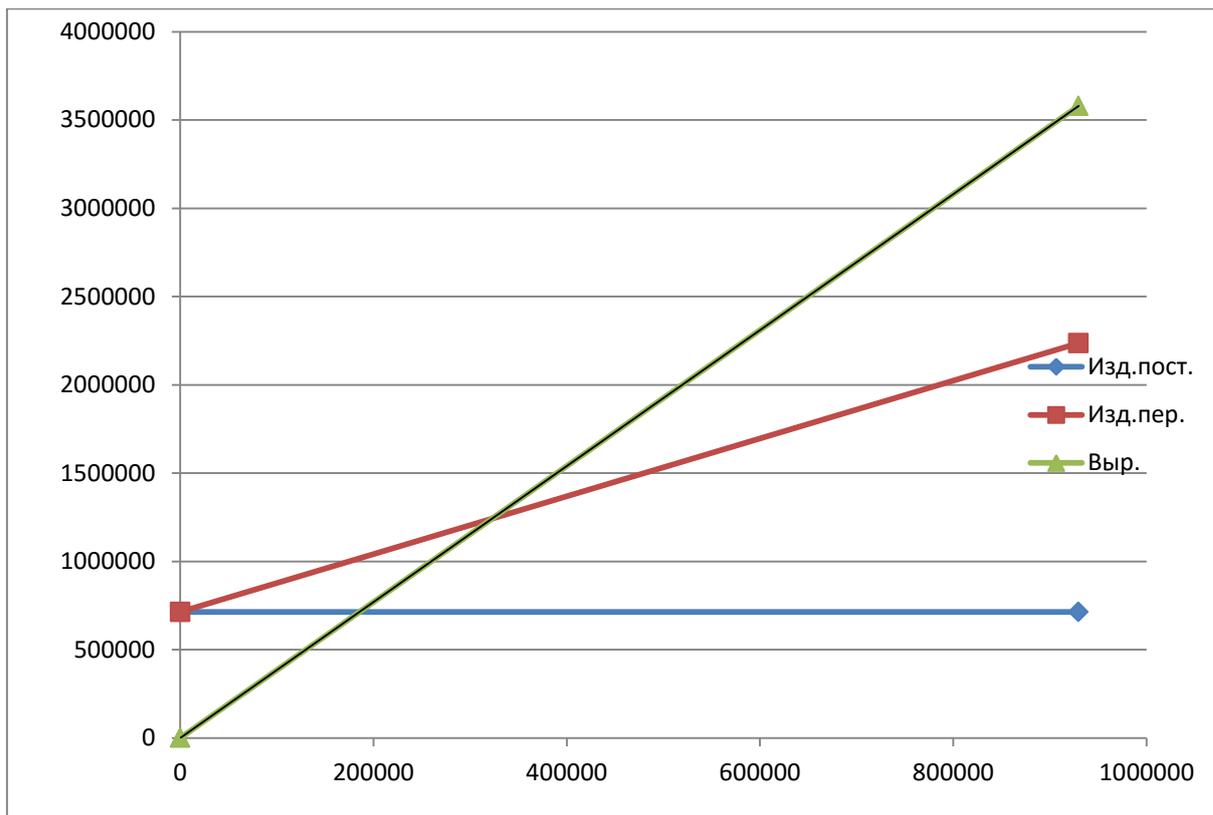


Таблица 9.12. Калькуляция себестоимости на производство и реализацию продукции при заданном объеме производства Q=1022813

| Статьи калькуляции | Ед. изм. | Выпуск, тыс. м/год | Затраты на единицу продукции | Затраты на весь объем |
|---|----------|--------------------------|------------------------------------|--------------------------|
| 1.1 Сырье и материалы | тыс.руб. | 1022813 | 0,7979 | 816102,4927 |
| 1.2 Энергоресурсы | тыс.руб. | 1022813 | 1,587025 | 1623229,801 |
| 2. ЗП (основная и дополнительная) основных рабочих | тыс.руб. | 1022813 | 0,01836 | 18778,84668 |
| 3. Отчисления на социальные нужды от ЗП основных раб. | тыс.руб. | 1022813 | 0,005508 | 5633,654004 |
| 4. Расходы на содержание и эксплуатацию оборудования | | 1022813 | | |
| 4.1. Амортизационные отчисления от произв. оборудования | тыс.руб. | 1022813 | 0,00857 | 7968,6345 |
| 4.2. Эксплуатация оборудования | | | | |
| 4.2.1. ЗП вспомогательных рабочих | тыс.руб. | 1022813 | 0,007838 | 7288,14 |
| 4.2.2. Отчисления от ЗП вспомогательных рабочих | тыс.руб. | 1022813 | 0,002351 | 2186,442 |
| 4.3. Текущий ремонт оборудования | тыс.руб. | 1022813 | 0,002902 | 2698,535 |
| 4.4. Капитальный ремонт оборудования | тыс.руб. | 1022813 | 0,003777 | 3512,379 |
| 5. Цеховые расходы | | | | |
| 5.1. ЗП инженерно—технических работников | тыс.руб. | 1022813 | 0,006447 | 5994,317 |
| 5.2. Отчисления от ЗП ИТР | тыс.руб. | 1022813 | 0,001934 | 1798,2951 |
| 5.3. Амортизация зданий, сооружений и инвентаря | тыс.руб. | 1022813 | 0,008744 | 8130,7262 |
| 5.4. Содержание зданий, сооружений и инвентаря | | | | |
| 5.4.1. ЗП младшего обслуживающего персонала | тыс.руб. | 1022813 | 0,003359 | 3123,492 |
| 5.4.2. . Отчисления от ЗП МОП | тыс.руб. | 1022813 | 0,001008 | 937,0476 |
| 5.5. Текущий ремонт зданий, сооружений и инвентаря | тыс.руб. | 1022813 | 0,006247 | 5808,768 |
| 5.6. Капитальный ремонт зданий, сооружений и инвентаря | тыс.руб. | 1022813 | 0,011657 | 10839,159 |
| 5.7. Охрана труда | | | | |
| 5.7.1. Спецмолоко | тыс.руб. | 1022813 | 0,00015 | 139,065 |
| 5.7.2. Пожарный инвентарь (огнетушители) | тыс.руб. | 1022813 | 4,09*10-5 | 38 |
| 5.7.3. Аптечка | тыс.руб. | 1022813 | 1,59*10-6 | 1,474 |
| Итого цеховая себестоимость | тыс.руб. | 1022813 | 2,4738 | 2524209,269 |
| 6. Общепроизводственные расходы | | | | |
| 6.1. Общезаводские расходы | тыс.руб. | 1022813 | 0,6679 | 621071,2701 |
| 6.2. Затраты на отопление | тыс.руб. | 1022813 | 0,002 | 1880,993 |
| 6.3. Аренда производственных помещений | тыс.руб. | 1022813 | 0,0325 | 30177,632 |
| Итого заводская себестоимость | тыс.руб. | 1022813 | 3,1064712 | 3177339,164 |
| 7. Коммерческие расходы | тыс.руб. | | | |
| 7.1. Коммерческие расходы | тыс.руб. | 1022813 | 0,031763 | 31773,39164 |
| Итого полная себестоимость | тыс.руб. | 1022813 | 3,1375359 | 3209112,556 |
| Условно-переменные издержки | тыс.руб. | 1022813 | 2,4398577 | 2495518,186 |
| Условно-постоянные издержки | тыс.руб. | 1022813 | 0,6976782 | 713594,3695 |

Определение цены готовой продукции

Цену продукта оставляем прежней:

$$Ц=3,8496 \text{ тыс.руб.}$$

9.7. Анализ безубыточности по увеличенному объему производства

Цель анализа – определение **точки безубыточности**, т.е. минимального объема продаж, начиная с которого предприятие не несет убытков. В точке безубыточности выручка от продажи продукции ($B_{пр}$) равна общим затратам на производство и реализацию продукции:

$$B_{пр} = \text{Изд.}_{\text{пост}} + \text{Изд.}_{\text{пер}} = 3209112,556$$

Определение точки безубыточности:

1. *Аналитическим* способом:

$$Q_{кр.} = \frac{\text{Изд.}_{\text{пост}}}{Ц_{ГП} - \text{Изд.}_{\text{перГП}}}, \text{ ТОНН,}$$

$$Q_{кр.} = 713594,3695 / (3,8496 - 2,4398577) = 506188 \text{ тыс. м}^3$$

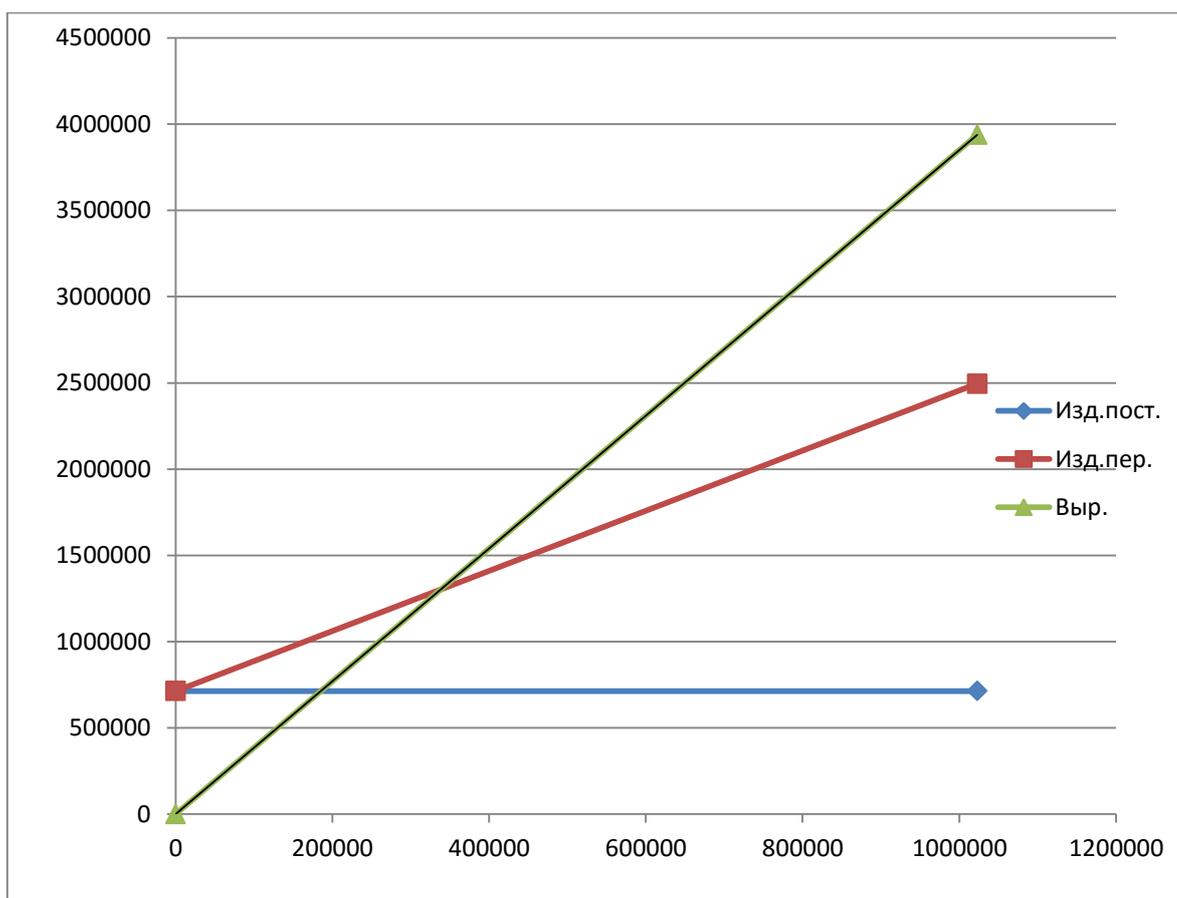
Где $Ц_{ГП}$ – цена единицы готовой продукции (1 тонны);

$\text{Изд}_{ГП}$ - удельные переменные издержки (переменные издержки на единицу готовой продукции – 1 тыс. м³).

2. *Графическим* способом:

Графически точка безубыточности определяется согласно рис.2.

Рис. 9.2 График безубыточности



9.8. Определение технико-экономических показателей

Таблица 9.13. Технико-экономические показатели

| Наименование показателя | Ед. изм. | Отчетный год | Плановый год |
|--|----------------|--------------|--------------|
| 1. Объем производства | тыс. т | 929830 | 1022813 |
| 2. Объем продаж | тыс. т | 929830 | 1022813 |
| 3. Цена 1 тонны | тыс. руб. | 3,8496 | 3,8496 |
| 4. Выручка от продажи (2*3) | тыс. руб. | 3579473,568 | 3937420,925 |
| 5. Суммарные издержки | тыс. руб. | 2982927,79 | 3209112,556 |
| 5.1.Издержки переменные | тыс. руб. | 2269333,42 | 2495518,186 |
| 5.2.Издержки постоянные | тыс. руб. | 713594,369 | 713594,3695 |
| 6. Операционная прибыль (4–5) | тыс. руб. | 596545,778 | 728308,3688 |
| 7. Налог на прибыль (6*20%) | тыс. руб. | 119309,1556 | 145661,6738 |
| 8. Чистая прибыль (6–7) | тыс. руб. | 477236,6224 | 582646,695 |
| 9. Себестоимость 1 тонны | тыс. руб. | 3,208036 | 3,1375359 |
| 10. Стоимость основных средств | тыс. руб. | 231659,3 | 231659,3 |
| 11. Численность основных рабочих | чел. | 34 | 34 |
| 12. Фондовооруженность (10/11) | тыс. руб./чел. | 6813,50882 | 6813,508824 |
| 13. Фондоотдача (4/10) | руб./руб. | 15,4514564 | 16,99660201 |
| 14. Фондоемкость (10/4) | руб./руб. | 0,06471882 | 0,05883529 |
| 15. Производительность труда (4/11) | тыс. руб./чел. | 105278,634 | 115806,4978 |
| 16. Рентабельность производства (8*100%/5) | % | 16 | 18,15 |
| 17. Рентабельность продаж (8*100%/4) | % | 13,33 | 14,8 |
| 18. Критический объем продаж ($Q_{кр.}$) | тыс. т | 506451 | 506188 |
| 19. Критический объем продаж ($Q_{кр.}$) | тыс. руб. | 3,8496 | 3,8496 |

9.9. Вывод

В результате увеличения загрузки производственной мощности на 10% и, соответственно, использования «эффект масштаба», мы получили следующий экономический эффект: увеличилась чистая прибыль с 477236,6224 до 582646,695тыс. руб. , то есть на 22%

Заключение

Объектом исследования явилась установка фракционирования нефтяных газов на Лугинецкой газо-компрессорной станции НГДУ ОАО "ТомскНефть".

В процессе работы были проведены расчеты материального, теплового балансов, гидравлический и конструктивные расчеты ректификационной колонны, а также двух теплообменников.

В результате расчета материального баланса колонны при расходе питания - 13344 кг/ч расход дистиллята составляет 8230 кг/ч, а расход кубового остатка составляет 5114 кг/ч.

Расчетные расчеты ректификационной колонны показали, что флегмовое число составляет 3,22, а скорость пара - 1,8 м/с; диаметр колонны - 1800 мм (расчетное), а приведенный в регламенте, диаметр колонны составляет 2000 мм.

Результаты гидравлического расчета показали, что гидравлическое сопротивление парожидкостного слоя в верхней части колонны составляет 516 Па, а гидравлическое сопротивление парожидкостного слоя в нижней части колонны составляет 552 Па. По высоте колонны обеспечивается нормальное течение технологического процесса при максимальной нагрузке по дистилляту.

Высота слоя над сливной перегородкой в верхней части колонны составляет 0,13 м, а на нижней тарелке равен 0,17 м.

В результате теплового баланса ректификационной колонны было рассчитано количество тепла вносимое флегмой составляет 72535 Вт, количество тепла вносимое начальной смесью составляет 38396 Вт, расход теплоты, получаемый в кубе - испарителе от греющего пара равен 536295 Вт.

Общее число тарелок в ректификационной колонне составляет 18 шт.

Расстояние между тарелками соблюдается. Расчетное составляет 0,382 м., а проектное 0,61 м.

Расчёты теплообменников показали, что ребойлер является четырёхходовым кожухотрубчатый теплообменником, а теплообменник-исходной смеси является одноходовым.

По запланированному объёму производства ЛГКС произведены расчет технико-экономических показателей, расчет точки безубыточности. Товарная выручка составляет 3937,4 млн. руб. в год, Чистая прибыль – 582,6 млн. в год. Цена одного м³ осушенного газа С1, С2 составляет 3,85 руб.

Список использованной литературы

1. ГОСТ Р 52857.1—2007 Общие требования. – М.: ИПК Изд-во стандартов, 2008. –37 с
2. ПБ03-576-03 Правила устройства и безопасной эксплуатации сосудов, работающих под давлением
3. ГОСТ Р 52857.2-2007 НОРМЫ И МЕТОДЫ РАСЧЕТА НА ПРОЧНОСТЬ.
4. ГОСТ 28759.3-90. Фланцы сосудов и аппаратов стальные приварные встык. Конструкция и размеры
5. АТК24.218.06-90 ШТУЦЕРА ДЛЯ СОСУДОВ И АППАРАТОВ СТАЛЬНЫХ СВАРНЫХ
6. ГОСТ Р 52857.3-2007 Укрепление отверстий в обечайках и днищах при внутреннем и внешнем давлениях.
7. ГОСТ 26-2005-83* ОТРАСЛЕВОЙ СТАНДАРТ, ЛЮКИ С ФЛАНЦАМИ, ПРИВАРНЫМИ ВСТЫК, С УПЛОТНИТЕЛЬНОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ «ВЫСТУП-ВПАДИНА» СТАЛЬНЫХ СВАРНЫХ СОСУДОВ И АППАРАТОВ.
8. А. А. Лазинский, А. Р. Толчинский. "Основы конструирования и расчет химической аппаратуры" Справочник
9. ГОСТ Р 51273-99 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Определение расчетных усилий для аппаратов колонного типа от ветровых нагрузок и сейсмических воздействий
10. ТУ3612-024-00220302-02 Теплообменники кожухотрубчатые с неподвижными трубными решетками и кожухотрубчатые с температурным компенсатором на кожухе. Основные параметры и размеры.
11. ПБ03-576-03 Правила устройства и безопасной эксплуатации сосудов, работающих под давлением
12. ГОСТ Р 52857.4-2004 Расчет фланцевых соединений

13. М. Ф. Михалева. "Расчет и конструирование машин и аппаратов химических производств". Примеры и задачи.
14. ГОСТ Р 52857.7-2007 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Теплообменные аппараты.
15. ОСТ26-02-1015-85. Крепление труб в трубных решетках
16. Богатуров С.А. Теория и расчет перегонки и ректификации. - М.: Гостоптехиздат, 1961 - 102с.
17. Бурзуляк Б.В. и др. Развитие газовой отрасли Томской области. Труды Томскгазпрома. : Научно-технический сборник / Под ред. Б.И. Соколова -Томск.: СТТ. 1999-356с.
18. Гельперин Н.И. Основные процессы и аппараты химической технологии. -М.: Химия 1987 -344с.
19. Касаткин А. Г. Плановский А. И. Чехов О. С. Расчеты тарельчатых ректификационных и абсорбционных аппаратов.- М.: Химия 1961. - 481с.
20. Ю.Кравченко Л.И. Анализ финансового состояния предприятия. - М. ПКФ
21. Павлов К.Ф., Романков П.Г. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии. - Л.: Химия . 1987 - 387с.
22. Технологический регламент по производству осушенного газа С1,С2 (ЛГКС) ОАО " ТомскНефть ,Томск. , 1996.- 569с.
- 23.СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.
- 24.СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03. Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий. – М.: Госкомсанэпиднадзор, 2003.
- 25.ГОСТ 12.1.003–83 (1999) ССБТ. Шум. Общие требования безопасности.
- 26.СНиП П-12-77. Защита от шума.

27. СН 2.2.4/2.1.8.562–96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки. М.: Минздрав России, 1997.
28. ГОСТ 12.1.005–88 (с изм. №1 от 2000 г.). ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны (01. 01.89).
29. ГОСТ 12.1.007–76 ССБТ. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности (с изм. 1990 г.).
30. СанПиН 2.1.6.1032-01. Гигиенические требования к обеспечению качества атмосферного воздуха населенных мест. – М.: Госкомсанэпиднадзор России, 2001.
31. ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов.
32. Р 2.2.2006-05. Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда. – М.: Минздрав России, 1999.
33. ГОСТ 12.1.019 -79 (с изм. №1) ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.
34. Общие правила взрывобезопасности для взрывопожароопасных химических, нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств, 1988 г.
35. ГОСТ 12.4.121-83 Система стандартов безопасности труда. Противогазы промышленные фильтрующие. Технические условия
36. СНиП 2.08.02-89 Степень огнестойкости. Общие требования.