

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

Школа Инженерная школа природных ресурсов

Направление подготовки 18.04.02 Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии

ООП «Технология и оборудование химических и нефтехимических производств»

Отделение школы (НОЦ) имени Н.М. Кижнера

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

| Тема работы |
|---|
| Оптимизация энергосбережения объектов подготовки и перекачки нефти |

УДК 665.62.013.620.9.658.5

Студент

| Группа | ФИО | Подпись | Дата |
|--------|--------------------------------|---------|------|
| 4КМ61 | Чистяков Евгений Александрович | | |

Руководитель

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|-----------|---------------------------|---------------------------|---------|------|
| Доцент | Беляев Василий Михайлович | к.т.н. | | |

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|-----------|--------------------------|---------------------------|---------|------|
| Доцент | Креницына Зоя Васильевна | к.т.н. | | |

По разделу «Социальная ответственность»

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|-----------|-----------------------------|---------------------------|---------|------|
| Профессор | Ахмеджанов Рафик Равильевич | д.б.н | | |

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

| Руководитель ООП | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|------------------|-----------------------------------|---------------------------|---------|------|
| Профессор | Краснокутская Елена Александровна | доктор химических наук | | |

Томск, 2018

Перечень результатов обучения (профессиональных и универсальных компетенций), запланированных к достижению выпускниками данной образовательной программы

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

| Код результата | Результат обучения (выпускник должен быть готов) | Требования ФГОС ВПО, критериев и/или заинтересованных сторон |
|-----------------------------------|--|--|
| P8 | Использовать современные компьютерные методы вычисления, основанные на применении современных эффективных программных продуктов при расчете свойств материалов, процессов, аппаратов и систем, характерных для профессиональной области деятельности; находить необходимую литературу, использовать компьютерные базы данных и другие источники информации | Требования ФГОС (ПК-4, 5, 9, 10, 11, 14) |
| <i>Общекультурные компетенции</i> | | |
| P9 | Демонстрировать знания социальных, этических и культурных аспектов профессиональной деятельности. | Требования ФГОС (ОК-1,2,6-10), Критерий 5 АИОР (пп.2.4,2.5) |
| P10 | Самостоятельно учиться и непрерывно повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности. | Требования ФГОС (ОК-6,7,8), Критерий 5 АИОР (2.6) |
| P11 | Владеть иностранным языком на уровне, позволяющем разрабатывать документацию, презентовать результаты профессиональной деятельности. | Требования ФГОС (ОК-11) , Критерий 5 АИОР (п.2.2) |
| P12 | Эффективно работать индивидуально и в коллективе, демонстрировать ответственность за результаты работы и готовность следовать корпоративной культуре организации. | Требования ФГОС (ОК-3,4,5,12) , Критерий 5 АИОР (пп.1.6, 2.3) |

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

Инженерная школа новых производственных технологий

Научно-образовательный центр Н.М.Кижнера

Направление подготовки 18.04.02 Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии

Профиль Машины и аппараты химических и нефтехимических производств

УТВЕРЖДАЮ:
Руководитель ООП

(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Магистерской диссертации

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

Студенту:

| Группа | ФИО |
|--------|--------------------------------|
| 4КМб1 | Чистяков Евгений Александрович |

Тема работы:

Оптимизация энергосбережения объектов подготовки и перекачки нефти

Утверждена приказом директора (дата, номер)

Срок сдачи студентом выполненной работы:

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе

(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.).

*Цех подготовки и перекачки нефти №4 Установка предварительного сброса воды №8 АО «Томскнефть» ВНК
- Сырье – водонефтяная эмульсия, пластовая вода
- Проектная мощность – 5480 м³/сут
- Режим работы- непрерывный
Оптимизация энергосбережения с разработкой и внедрением кожухотрубчатого теплообменника для следующих рабочих параметров:
- Теплоносители: пластовая вода-вода системы отопления
- Горячий- пластовая вода: T_н=75 °С, T_к=72 °С;
- Холодный - вода: T_н=54 °С, T_к=70 °С;
Давление рабочее в трубном пространстве 0,1 МПа;
Давление рабочее в межтрубном пространстве 0,1 МПа;
Режим работы: непрерывный;
Разработка отстойника для следующих рабочих параметров:
Рабочая среда – водонефтяная эмульсия;
Проектная мощность – 5480 м³/сут;
Рабочая температура среды: +65/+80 °С;
Рабочее давление: 0,8 МПа;*

| | |
|--|---|
| <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, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p> | <ul style="list-style-type: none"> -Введение; -Обзор литературы; -объект и методы исследования; -Расчеты и аналитика; -Результаты проведенного исследования (разработки); -Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение; -Социальная ответственность; -Заключение; -Список используемой литературы; |
|--|---|

| | |
|--|--|
| <p>Перечень графического материала</p> <p><i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p> | <ul style="list-style-type: none"> Лист 1. Технологическая схема. (A0); Лист 2. Кожухотрубчатый теплообменник. Чертеж общего вида. (A1); Лист 3. Кожухотрубчатый теплообменник. Сборочные единицы. (A1); Лист 4. Отстойник ОГ-200. Чертеж общего вида. (A0); Лист 5. Отстойник ОГ-200. Сборочные единицы. (A0); Лист 6. Техничко-экономические показатели. (A1); |
|--|--|

| | |
|---|--|
| <p>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</p> <p><i>(с указанием разделов)</i></p> | |
|---|--|

| Раздел | Консультант |
|---|-----------------------------------|
| Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение | к.т.н., доцент Криницына З.В. |
| Социальная ответственность | д.б.н., профессор Ахмеджанов Р.Р. |
| | |
| | |

| |
|--|
| <p>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</p> |
| Литературный обзор |
| |
| |

| | |
|--|--|
| <p>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</p> | |
|--|--|

Задание выдал руководитель:

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|-----------|---------------------------|------------------------|---------|------|
| Доцент | Беляев Василий Михайлович | К.Т.Н. | | |

Задание принял к исполнению студент:

| Группа | ФИО | Подпись | Дата |
|--------|--------------------------------|---------|------|
| 4КМ61 | Чистяков Евгений Александрович | | |

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

Студенту:

| | |
|---------------|--------------------------------|
| Группа | ФИО |
| 4КМб1 | Чистяков Евгений Александрович |

| | | | |
|---------------------|--------------|------------------------------|--|
| Школа | ИШНПТ | Отделение школы (НОЦ) | НОЦ им. Н.М.Кижнера |
| Уровень образования | Магистратура | Направление/специальность | 18.04.02 Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии |

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

| | |
|--|--|
| 1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих | Работа с информацией, представленной в технологическом регламенте, аналитических материалах, нормативно-правовых документах. |
| 2. Нормы и нормативы расходования ресурсов | |
| 3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования | |

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

| | |
|---|--|
| 1. Оценка коммерческого и инновационного потенциала проекта с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения. | 1.1 Потенциальные потребители результатов исследования 1.2. Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения 1.3 Диаграмма Исикавы |
| 2. Инициация научно-технического проекта | 2.1. Определение целей и ожиданий, требований проекта. 2.2. Определение заинтересованных сторон и их ожиданий. |
| 3. Планирование процесса управления НИИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок | 3.1. Составление структуры работ и календарного плана проекта. 3.2. Определение бюджета НИИ |
| 4. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности | 4.1 Оценка экономической эффективности проекта. |

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Диаграмма Исикавы
2. График проведения и бюджет НИИ
3. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИИ

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

Задание выдал консультант:

| | | | | |
|------------------|--------------------------|-------------------------------|----------------|-------------|
| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
| Доцент | Креницына Зоя Васильевна | К.Т.Н. | | |

Задание принял к исполнению студент:

| | | | |
|---------------|--------------------------------|----------------|-------------|
| Группа | ФИО | Подпись | Дата |
| 4КМб1 | Чистяков Евгений Александрович | | |

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

| | |
|-----------------|---|
| Группа 4КМ61 | ФИО Чистякову Евгению Александровичу |
|-----------------|---|

| | | | |
|---------------------|--------------|---------------------------|--|
| Школа | ИШНПТ | Отделение школы (НОЦ) | НОЦ им. Н.М. Кижнера |
| Уровень образования | магистратура | Направление/специальность | 18.04.02 Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии |

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

| | |
|---|---|
| <p>1. Описание рабочего места (рабочей зоны, технологического процесса, механического оборудования) на предмет возникновения:</p> <ul style="list-style-type: none"> – вредных проявлений факторов производственной среды (метеоусловия, вредные вещества, освещение, шумы, вибрации, электромагнитные поля, ионизирующие излучения) – опасных проявлений факторов производственной среды (механической природы, термического характера, электрической, пожарной и взрывной природы) – негативного воздействия на окружающую природную среду (атмосферу, гидросферу, литосферу) – чрезвычайных ситуаций (техногенного, стихийного, экологического и социального характера) | <p>Объектом исследования является установка предварительного сброса воды (УПСВ).</p> <p>Место технического обслуживания теплообменной установки представляет собой блок-бокс. В теплообменной установке движутся такие теплоносители, как вода и пластовая вода. Перемещение теплоносителей осуществляется при помощи насосных агрегатов.</p> <p>Область применения – нефтеперерабатывающая промышленность.</p> |
|---|---|

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

| | |
|---|---|
| <p>1.1. Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть при эксплуатации объекта исследования:</p> <ul style="list-style-type: none"> – физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой; – действие фактора на организм человека; – приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ); – предлагаемые средства защиты; – (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства). <p>1.2. Анализ вредных и опасных производственных факторов, которые могут возникнуть на рабочем месте при проведении исследований:</p> <ul style="list-style-type: none"> – механические опасности (источники, средства защиты); – термические опасности (источники, средства защиты); <p>электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты)</p> <p>1.3. Обоснование мероприятий по защите исследователя от действия опасных и вредных факторов.</p> | <p>a. В производственной среде и при применении вычислительной техники вероятно воздействие следующих вредных факторов:</p> <ul style="list-style-type: none"> -Отклонение показателей микроклимата на открытом воздухе и в помещении; -Недостаточная освещенность; -Повышенный уровень шума; -Повышенный уровень электромагнитных излучений -Физические перегрузки; -Нервно – психические перегрузки. <p>b. На установке предварительного сброса воды присутствуют следующие вредные вещества:</p> <ul style="list-style-type: none"> -бензол; - этилен; -этилбензол; -сероводород; -аммиак; -оксид углерода. <p>Для защиты используют: хлопчатобумажные костюмы, защитные очки, ботинки кожаные, перчатки, противогазы, каска.</p> <p>К опасным факторам на УПСВ относят:</p> <ul style="list-style-type: none"> -горючесть, взрывоопасность, токсичность веществ, используемых на установке; -наличие электротехнических устройств высокого напряжения; -превышение токсичных веществ в воздухе рабочей зоны. |
|---|---|

| | |
|--|---|
| | СанПиН 2.2.4.548 – 96, ГОСТ 12.1.013 – 78, СанПиН 2.2.4.1191 – 03, СанПиН 2.6.1.1015 – 01, СанПиН 2.2.2/2.4.1340 – 03, СанПиН 2.2.4/2.1.8.055 – 96 |
| <p>2. Экологическая безопасность:</p> <ul style="list-style-type: none"> – защита селитебной зоны – анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы); – анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы); – анализ воздействия объекта на литосферу (отходы); <p>разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды.</p> | <p>Основными загрязнителями атмосферы на производстве являются:</p> <ul style="list-style-type: none"> -Сероводород; -Аммиак; -Углеводороды; -Оксид углерода. <p>Для повышения уровня экологической безопасности следует улучшить фильтрационные очистительные сооружения, проводить очистку сточных вод, для утилизации необходимо проводить захоронение на специальных полигонах для промышленных отходов, использовать очистку газа от токсичных веществ на абсорбционных установках.</p> |
| <p>3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</p> <p>перечень возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения;</p> <ul style="list-style-type: none"> – выбор наиболее типичной ЧС; – разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; – разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий. | <p>Возникновение ЧС, требующих обеспечения электро- и пожаровзрывобезопасности на рабочем месте.</p> <p>Перечень возможных ЧС:</p> <ul style="list-style-type: none"> -пожар; -взрыв; -розлив нефтепродуктов. <p>Для обеспечения безопасной эксплуатации УПСВ предусмотрена рациональная технологическая схема с комплексной автоматизацией технологического процесса, которая позволяет обеспечить непрерывный процесс производства и стабильную работу оборудования. Также предусмотрено отключение электрооборудования со щита операторной.</p> |
| <p>4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. | <p>К нормативным актам, регулирующим вопросы охраны труда, в первую очередь относится Трудовой кодекс Российской Федерации. Для обеспечения безопасности на рабочем месте необходимо руководствоваться санитарными нормами и правилами. Для снижения вредного воздействия химических факторов работникам производства выдается молоко питьевое в количестве 0,5 л за смену для выведения из организма токсичных веществ.</p> <p>Конституция РФ, ГОСТ Р 12.1.009-2009.</p> |

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

Задание выдал консультант:

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|-----------|-----------------------------|------------------------|---------|------|
| Профессор | Ахмеджанов Рафик Равильевич | д.б.н | | |

Задание принял к исполнению студент:

| Группа | ФИО | Подпись | Дата |
|--------|--------------------------------|---------|------|
| 4КМ61 | Чистяков Евгений Александрович | | |

Реферат

Выпускная квалификационная работа выполнена в форме магистерской диссертации, состоит из графической части, представленной на 6 листах формата А1-А0 и пояснительной записки. Пояснительная записка содержит 150 листов формата А4, 23 рисунка и 32 таблицы. Пояснительная записка выполнена в среде Microsoft office Word, с использованием РТС Mathcad 15.0. Графический материал выполнен с использованием программного обеспечения КОМПАС 3D V15.

Ключевые слова: установка предварительного сброса воды, кожухотрубчатый теплообменник, пластовая вода, отстойник ОГ-200, водонефтяная эмульсия.

Цель работы: сокращение затрат на электроэнергию путем внедрения кожухотрубчатого теплообменника пластовая вода-вода.

В магистерской диссертации рассмотрены основные проблемы УПСВ-8, связанные с электропотреблением, и предложены пути их решения.

В разделе «Анализ технических и технологических проблем УПСВ-8» выявлена и охарактеризована основная проблема энергосбережения.

В разделе «Расчет кожухотрубчатого теплообменника» содержится технологический, конструктивный и механический расчеты теплообменника.

В разделе «Расчет отстойника ОГ-200» выполнен механический расчет и проверка на прочность основных элементов аппарата. Произведен расчет и выбор предохранительного устройства от аварийного превышения давления.

В разделе «социальная ответственность» рассмотрены вопросы обеспечения безопасной работы персонала, производственной санитарии и охраны окружающей среды.

В разделе «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» проведен анализ эффективности внедрения теплообменной установки.

Определения, обозначения, сокращения, нормативные ссылки

В данной работе применимы следующие термины с соответствующими определениями:

Пластовая вода: вода, которая находится в нефтяном пласте

Теплообмен: процесс передачи теплоты от менее нагретых тел к более нагретым.

Ресурсоэффективность: способность минимально возможными усилиями достигать максимальных результатов, чтобы таким образом сэкономить возможности или ресурсы.

Оглавление

| | |
|--|-----|
| Введение | 13 |
| 1 Обзор литературы | 15 |
| 2 Объект и методы исследования..... | 21 |
| 3 Расчетная часть..... | 22 |
| 3.1 Расчет кожухотрубного теплообменника | 22 |
| 3.1.1 Расчет тепловых потерь | 22 |
| 3.2 Подбор теплообменной установки..... | 24 |
| 3.3 Технологический расчет | 25 |
| 3.4 Гидравлический расчет | 34 |
| 3.4.1 Расчет диаметров патрубков..... | 34 |
| 3.4.2 Расчет мощности для перекачки пластовой воды..... | 35 |
| 3.4.3 Расчет мощности для перекачки циркуляционной воды | 39 |
| 3.5 Конструктивный расчет теплообменника | 41 |
| 3.5.1 Расчет толщины стенки корпуса аппарата | 43 |
| 3.5.2 Расчет толщины стенки стандартной эллиптической крышки (днища)..... | 46 |
| 3.5.3 Расчет укрепления отверстий при внутреннем и внешнем давлениях | 48 |
| 3.6 Механический расчет теплообменника | 70 |
| 3.6.1 Определение температурных деформаций | 71 |
| 3.6.2 Расчет толщины трубной решетки | 74 |
| 3.6.3 Расчет развальцовочного соединения | 76 |
| 3.6.4 Расчет фланцевого соединения | 78 |
| 3.7 Определение толщины тепловой изоляции | 88 |
| 3.8 Подбор опор аппарата..... | 89 |
| 4 Расчет отстойника | 92 |
| 4.1 Технологический расчет | 92 |
| 4.2 Расчет диаметров патрубков | 97 |
| 4.3 Механический расчет | 100 |
| 4.3.1 Определение расчетных параметров..... | 101 |
| 4.3.2 Расчет толщины стенок цилиндрической обечайки | 103 |
| 4.3.3 Расчет толщины стенки стандартной эллиптической крышки (днища)..... | 105 |
| 4.3.4 Расчет укрепления отверстий при внутреннем и внешнем давлениях | 107 |
| 4.3.5 Расчет фланцевого соединения | 130 |
| 4.4 Расчет средств защиты..... | 139 |
| 4.5 Расчет седлообразных опор | 142 |

| | |
|--|-----|
| 5 Результаты исследования | 146 |
| 6 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение | 154 |
| 6.1 Потенциальные потребители результатов исследования | 154 |
| 6.2 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения | 156 |
| 6.3 Диаграмма Исикавы | 158 |
| 6.4 Оценка готовности проекта к коммерциализации | 161 |
| 6.5 Методы коммерциализации результатов научно-технического исследования | 163 |
| 6.6 Инициация проекта | 165 |
| 6.7 Планирование управления научно-техническим проектом | 168 |
| 6.7.1 Иерархическая структура работ проекта | 168 |
| 6.7.2 Контрольные события проекта | 169 |
| 6.7.3 План проекта | 170 |
| 6.8 Экономическая эффективность | 171 |
| 7 Социальная ответственность | 173 |
| 7.1 Анализ вредных и опасных производственных факторов | 174 |
| 7.2 Производственная санитария | 180 |
| 7.3 Метеорологические условия | 182 |
| 7.4 Шумы | 183 |
| 7.5 Освещение | 184 |
| 7.6 Электробезопасность | 185 |
| 7.7 Пожарная безопасность | 186 |
| 7.8 Экологическая безопасность | 187 |
| 7.9 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности | 190 |
| Заключение | 191 |
| Список научных трудов | 193 |
| Список использованной литературы | 194 |
| Приложение А | 197 |

Введение

В современном мире статья расходов за отопление занимает одну из наибольших, а если отопление помещения происходит за счет электроэнергии, то всплывает проблема энергосбережения. Вследствие этого стоит отметить, что проблема, связанная с экономией ресурсов, будь то проблема энергосбережения, либо ресурсосбережения, существует и является актуальной. Ведь все мы знаем, чтобы отапливать помещения, нужно затрачивать определенные ресурсы, такие как уголь, газ, древесина. А все эти перечисленные ресурсы являются исчерпаемыми.

В настоящее время существует ряд альтернативных источников энергии, а также установок, позволяющих извлекать из этих источников энергию. Но, к сожалению, не везде такие установки могут быть применимы. Например, монтаж тепловых насосов в северных широтах Российской Федерации будет экономически нецелесообразным, хотя в Европе это достаточно популярный способ отопления помещений. Также существуют такие альтернативные источники энергии как энергия ветра, энергия солнца, энергия приливов и отливов, геотермальная энергия и энергия биомасс.

На установке, где мною была пройдена преддипломная практика, добывается горячая нефть (65-75 °С). Но, к сожалению, тепло от этой нефти впустую уходит в атмосферу и нигде не используется.

В данной работе предлагается решение имеющейся проблемы путем внедрения теплообменной установки, которая известна человеку достаточно давно. Такая установка позволит использовать тепловую энергию недр Земли: тепловую энергию добываемой нефти, в целях отопления помещений на объектах УПНиГ. Применение такого альтернативного способа обеспечит не только экономию природных ресурсов, в данном случае электричество, вырабатываемое из этих самых ресурсов, но и существенно сократит расходы по данной статье, что говорит о несомненной практической значимости работы, а также об её экономической целесообразности.

Цель магистерской диссертации заключается в том, чтобы сократить статью расходов на электропотребление путем внедрения теплообменной установки «пластовая вода-вода».

Для достижения поставленной цели были определены следующие задачи:

- расчет тепловых потерь помещений, нуждающихся в отоплении;
- подбор и расчет теплообменной установки для передачи тепла от пластовой воды к циркуляционной воде.
- Расчет экономического эффекта до и после внедрения теплообменной установки.

Поставленные задачи будут решаться с помощью теоретического исследования, а также при помощи компьютерной программы MathCad.

1 Обзор литературы

Энергия это важнейшая составляющая всего, что нас окружает. Без энергии не было бы ничего. Для зарождения планеты нужна была энергия, для появления жизни на Земле также нужна была энергия, для появления всего живого и неживого на Земле нужна энергия, для поддержания жизни на планете нужна энергия. Повторюсь, энергия это важнейшая составляющая окружающего нас мира. И сегодня человек должен искать источники энергии и использовать их так, чтобы поддерживать жизнь на Земле.

Еще издревле человек нашел примитивные источники энергии – древесина. Сжигая древесный материал, человек, не зная того, получал тепловую энергию для того, чтобы согреться и приготовить пищу. С эволюцией человек находил новые источники энергии, научил конвертировать их в разные виды энергии, научился изготавливать из них различные предметы для жизнедеятельности.

И сегодня в XXI веке человек использует такие основные источники энергии как: древесина, уголь, газ, нефть, вода[1]. Но, к сожалению, все эти источники в своем роде являются невозобновляемыми. Точнее, возобновляемыми, но на их возобновление понадобится не один миллион лет. Поэтому человечеству уже пора задумываться о том, какие альтернативные источники энергии могут впоследствии, а возможно, уже и сегодня заменить все вышеперечисленное сырье.

Вследствие описанной выше проблемы в данной работе предлагается частично заменить использование электроэнергии на установке предварительного сброса воды (УПСВ) альтернативным источником: за счет тепла добываемой на объекте нефти отапливать производственные и непромышленные помещения. На сегодняшний день тепло от добываемой нефти просто уходит в атмосферу, хотя могло применяться по назначению. За счет этого возможна экономия как источников энергии, так и средств, затрачиваемых на электроэнергию.

Но также существуют и другие альтернативные источники энергии, которые также можно применить на объекте: энергия солнца, энергия ветра, энергия биомасс, геотермальная энергия, энергия приливов и отливов [2].

Рассмотрим энергию солнца. Сегодня становится достаточно популярным использовать энергию солнца для выработки электроэнергии. Уже достаточно давно изобретены солнечные батареи, которые за счет генерации солнечного света в электрический ток могут обеспечить нас электроэнергией. При чем, не имеет значения температура окружающего воздуха, важно, чтобы светило солнце. Чем менее облачно на улице, тем больше будет сгенерировано электроэнергии. Учитывая тот фактор, что УПСВ располагается в северных широтах, то эффективность солнечных батарей будет выше, так как температура окружающего воздуха достаточно низкая, вследствие чего происходит естественное охлаждение батарей, что необходимо для их работы. Но также стоит учесть тот фактор, что время пребывания солнца в данных широтах также меньше. Что касается осадков, то они не оказывают негативного влияния на эффективность работы солнечных батарей. Обслуживание таких батарей также не представляет особых навыков и знаний. Необходимо регулировать угол наклона батарей, а также следить за чистотой поверхности фотоэлементов. Учитывая все плюсы и минусы данного способа получения энергии, следует отметить, что данный способ имеет место быть [3].

Далее рассмотрим способ получения энергии от ветра. В примере, описанном ранее, использовались специальные батареи. В данном случае используют ветрогенераторы. Принцип его действия заключается в следующем: сила ветра приводит в действие лопасти, которые в свою очередь заставляют вращаться ротор через специальный привод. А благодаря наличию статорной обмотки, механическая энергия превращается в электрический ток. Аэродинамические особенности винтов позволяют быстро крутить турбину генератора. Итак, рассмотрим положительные и отрицательные стороны данного способ получения энергии. Начнем с того,

что ветрогенераторы абсолютно безопасны и экологичны. Ветрогенератор мощностью в 20кВт может обеспечить электроэнергией небольшой посёлок, базу отдыха или даже завод. Его устройство достаточно просто, потребность в заправке топливом отсутствует, никакого накопления отходов не происходит, а срок эксплуатации достаточно большой. Но, к сожалению, у таких установок также есть и минусы: мы пока не можем контролировать природу и ветер, вследствие чего мы не сможем обеспечить постоянный воздушный поток. Данный фактор определяющий и может сказаться на продуктивности ветрогенератора. Учитывая тот момент, что объект, нуждающийся в электроэнергии, располагается в нежилой местности и в тех широтах, где ветра преобладают довольно большую часть времени, то такая установка вполне удовлетворит объект в потребности электроэнергии [4].

Следующий способ получения электроэнергии – энергия биомасс. Суть данного способа заключается в том, что в специальных печах сжигаются бытовые отходы и за счет выделения тепловой энергии происходит генерация этой энергии в электрическую. Сразу отмечу, что данный способ нам не подходит, так как количество образующихся отходов не сможет обеспечить необходимое получение электроэнергии, а сам способ является экологически небезопасным [5].

Способ получения электроэнергии за счет энергии приливов и отливов также не подходит для нашей местности, так как объект располагается в северных широтах, а также поблизости не имеется морей. Но сам способ как альтернативный источник энергии имеет место быть и в других, более приспособленных местностях, может существенно сэкономить средства на расходы за электроэнергию [2].

И еще один источник альтернативного источника энергии – геотермальная энергия или простыми словами тепловая энергия земли. Данный источник энергии является неисчерпаемым и восстанавливаемым. Тепловая энергия находится во внешней среде, что является практически неограниченным резервуаром для передачи тепла. Данный вид энергии

передают при помощи тепловых насосов. Существует множество теорий о том, насколько эффективны и выгодны тепловые насосы. Но рассмотрим этот момент с точки зрения возобновляемости ресурсов и экологичности. Как уже было сказано, тепловая энергия Земли – неограниченный источник энергии и перенос такой энергии до человека является безопасным и экологичным. Но что касается экономической выгоды и целесообразности использования такого рода источника, то сразу отметим, что применение таких насосов в северных широтах Земли нецелесообразно. Монтаж теплового насоса со всеми его составляющими обойдется в 10-12 раз дороже привычной системы отопления с применением классического котла. Окупаемость же тепловых насосов в данной местности составит не менее 12-15 лет. Стоит отметить, что если все же тепловой насос установлен в районах крайнего севера, то максимальная температура, до которой он сможет нагреть помещение, составит 10-12 оС, что недостаточно. Следовательно, придется применять комбинированный способ отапливания помещений, что также будет приносить дополнительные расходы. В связи с вышеизложенным сделаем вывод о том, что применение тепловых насосов нерационально, а также неприемлемо для нашей местности [6].

В результате анализа альтернативных способов получения энергии пришли к выводу, что выбранный нами способ отапливания помещений будет более эффективным, рациональным и экономически выгодным.

Далее рассмотрим теплообменные установки, наиболее приемлемые для таких условий работы.

Есть ряд основных теплообменников, которые применяются в современной промышленности: кожухотрубчатые, труба в трубе, змеевиковые, пластинчатые. Далее рассмотрим их преимущества и недостатки [7].

Рассмотрим змеевиковые теплообменники. Теплообменники данного типа используют в основном в химической промышленности для теплообмена между средами, одна из которых находится под давлением.

Змеевики могут быть изготовлены из полутруб и уголков. Сам же змеевик погружен в сосуд с жидкой рабочей средой. Другая жидкость или газообразная среда под давлением пропускается по трубам. Теплообменники данного типа характеризуются хорошей способностью к самокомпенсации температурных напряжений и низким гидравлическим сопротивлениям. Основным их недостаток это сложность изготовления и монтажа [7].

Следующий тип теплообменника труба в трубе. Такие теплообменники могут быть как разборными, так и неразборными, одно- и многопоточные. Очень хорошо подходят для теплообмена между такими средами, как жидкость-жидкость. Конструкция разборного многопоточного теплообменника «труба в трубе» напоминает кожухотрубчатый теплообменник типа У. Многопоточные теплообменники имеют два хода по внутренним трубам и два – по наружным. Аппараты изготавливают на условное давление 2,5 и 4 МПа [7].

Пластинчатые теплообменники отличаются высоким коэффициентом теплопередачи. Однако они весьма прихотливы в обслуживании и далеко не со всеми средами могут эксплуатироваться. Теплоносители должны быть без механических примесей, так как расстояние между пластинами достаточно мало, что может приводить к скорому засорению каналов. Также резиновые уплотнения между пластинами достаточно быстро могут терять свои свойства, что приводит к частым остановкам аппарата для замены резиновых уплотнений. Также при пуске пластинчатого теплообменника в работу следует обращать внимание на давление, так как при резком пуске возможна деформация пластин, что приведет к поломке агрегата. В целом, пластинчатые теплообменники просты в эксплуатации и обслуживании [7].

Кожухотрубчатые теплообменники наиболее часто применяются в современной промышленности, так как они наиболее просты по конструкции, неприхотливы к теплоносителям, а также легко ремонтируются и обслуживаются. Кожухотрубчатые теплообменники в свою очередь также подразделяются на несколько подвидов: с неподвижной

трубной решеткой (ТН), с температурным компенсатором (ТК), с плавающей головкой (ТП), с U-образными трубками (ТУ). Теплообменники типа ТК и ТП применяются в тех случаях, когда теплоносители имеют высокую температуру, вследствие чего возможно температурное расширение металла корпуса аппарата и трубного пучка. Преимущество агрегатов типа ТУ заключается в том, что возможен демонтаж корпуса агрегата для очистки трубного пучка от загрязнений. Наиболее простую конструкцию имеет теплообменник типа ТК. Он применяется в основном тогда, когда теплоносители не имеют высоких температур, а также повышенных механических примесей [7].

2 Объект и методы исследования

Необходимо оптимизировать энергосбережение на установке предварительного сброса воды. Решением данной проблемы является внедрение теплообменной установки, необходимой для теплообмена между горячим теплоносителем (пластовая вода) и холодным теплоносителем (циркуляционная вода).

Для определения типа и размеров установки, а также ее рабочих параметров будут произведены расчеты в программе MathCad, а также графический редактор КОМПАС 3D.

После того, как все расчеты будут произведены, а конструкция аппарата подобрана в соответствии ГОСТам, результаты будут направлены в технико-экономический отдел компании для рассмотрения проекта. В случае его одобрения последует внедрение установки.

3 Расчетная часть

3.1 Расчет кожухотрубного теплообменника

3.1.1 Расчет тепловых потерь

Примем средний показатель потерь на 1 м² 100 Вт, при условии, что наше помещение располагается в северных широтах Сибири, то увеличиваем этот показатель на 30%.

$$q_{\text{пот}} := 130 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$$

Учитывая площадь помещения, вычислим условное количество теплотерь для всего дома:

$$Q_{\text{пот}} := q_{\text{пот}} \cdot S_1 = 1.56 \times 10^4 \text{ Вт} \quad (1)$$

Далее, для подбора теплообменной установки необходимо определить расход теплоносителя в системе отопления. Примем следующие значения:

$$c_{\text{воды}} := 4182 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}} - \text{удельная теплоемкость воды}$$

Принимаем температуру обратки (начальную) 54°C и температуру подачи (конечную) 70°C.

$$t_{\text{обр}} := 54^\circ\text{C}$$

$$t_{\text{под}} := 75^\circ\text{C}$$

$$\Delta t := t_{\text{под}} - t_{\text{обр}} = 21^\circ\text{C} \quad (2)$$

Исходя из имеющихся данных, можно рассчитать необходимый расход теплоносителя в системе отопления:

$$G_{\text{ВОДЫ}} := \frac{Q_{\text{ПОТ}}}{c_{\text{ВОДЫ}} \cdot \Delta t} = 0.178 \frac{\text{кг}}{\text{с}} \quad (3)$$

С учетом прочих издержек, можно сделать вывод о том, что установка теплообменного оборудования экономически целесообразна.

3.2 Подбор теплообменной установки

Для подбора соответствующего теплообменного оборудования необходимо осуществить технологический расчет теплообменника, а затем по соответствующим ГОСТам подобрать стандартизированные размеры теплообменного оборудования. Расчет будет произведен для кожухотрубчатого теплообменника, исходя из следующих его преимуществ:

- Простота изготовления
- Простота обслуживания и чистки
- Возможность использования теплоносителей с механическими примесями
- Относительно высокий коэффициент теплоотдачи
- Большая поверхность теплообмена
- Относительно высокий срок службы

3.3 Технологический расчет

Исходя из темы работы, теплоносителями теплообменной установки должны служить подтоварная вода (вода, отделенная от нефти) и сама нефть. Но учитывая тот факт, что нефть все-таки пожароопасное вещество, то в системе отопления будет циркулировать чистая водопроводная вода, подогретая как раз подтоварной водой.

Исходные данные:

Хладагент - вода:

$$G_{\text{ВОДЫ}} = 0.178 \frac{\text{кг}}{\text{с}} - \text{расход теплоносителя в отопительной системе};$$

$$t_{\text{н.ВОДЫ}} := 54 \text{ } ^\circ\text{C} - \text{температуры воды на обратке};$$

$$t_{\text{к.ВОДЫ}} := 70 \text{ } ^\circ\text{C} - \text{температура воды на входе};$$

$$P_{\text{ВОДЫ}} := 0.1 \text{ МПа} - \text{давление воды в системе};$$

$$c_{\text{ВОДЫ}} = 4.182 \times 10^3 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot^\circ\text{C}} - \text{теплоемкость воды};$$

$$t_{\text{н.гр.ВОДЫ}} := 77 \text{ } ^\circ\text{C} - \text{температура подтоварной воды на входе};$$

$$G_{\text{гр.ВОДЫ}} := 1 \frac{\text{кг}}{\text{с}} - \text{расход подтоварной воды};$$

$$c_{\text{гр.ВОДЫ}} := 4056 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot^\circ\text{C}} - \text{теплоемкость воды}$$

Определим тепловую нагрузку в соответствии с заданными технологическими условиями. Так как агрегатное состояние теплоносителя не изменяется, то:

$$Q_{\text{ВОДЫ}} := G_{\text{ВОДЫ}} \cdot c_{\text{ВОДЫ}} \cdot (t_{\text{н.ВОДЫ}} - t_{\text{к.ВОДЫ}}) = -1.189 \times 10^4 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}} \quad (4)$$

Также при передаче тепла возможны его потери в пределах 3-5%:

$$Q_{\text{П}} := 0.05 \cdot Q_{\text{ВОДЫ}} = -594.286 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}} \quad (5)$$

Суммарная тепловая нагрузка с учетом потерь:

$$Q := Q_{\text{ВОДЫ}} + Q_{\text{П}} = -1.248 \times 10^4 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}} \quad (6)$$

Найдем конечную температуру подтоварной воды:

$$\left| G_{\text{ВОДЫ}} \cdot c_{\text{ВОДЫ}} \cdot (t_{\text{Н.ВОДЫ}} - t_{\text{К.ВОДЫ}}) \right| = \left| G_{\text{ГР.ВОДЫ}} \cdot c_{\text{ГР.ВОДЫ}} \cdot (t_{\text{Н.ГР.ВОДЫ}} - t_{\text{К.ГР.ВОДЫ}}) \right| \quad (7)$$

$$t_{\text{К.ГР.ВОДЫ}} := t_{\text{Н.ГР.ВОДЫ}} - \left| \frac{\left[G_{\text{ВОДЫ}} \cdot c_{\text{ВОДЫ}} \cdot (t_{\text{Н.ВОДЫ}} - t_{\text{К.ВОДЫ}}) \right]}{(G_{\text{ГР.ВОДЫ}} \cdot c_{\text{ГР.ВОДЫ}})} \right| = 74.07 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (8)$$

Определение средней разности температур:

$$\Delta t_{\text{б}} := t_{\text{К.ГР.ВОДЫ}} - t_{\text{Н.ВОДЫ}} = 20.07 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (9)$$

$$\Delta t_{\text{м}} := t_{\text{Н.ГР.ВОДЫ}} - t_{\text{К.ВОДЫ}} = 7 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (10)$$

$$\Delta t_{\text{ср}} := \frac{\Delta t_{\text{б}} - \Delta t_{\text{м}}}{\ln\left(\frac{\Delta t_{\text{б}}}{\Delta t_{\text{м}}}\right)} = 12.408 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (11)$$

Средняя температура воды:

$$\Delta t_{\text{ср.ВОДЫ}} := 0.5 \cdot (t_{\text{Н.ВОДЫ}} + t_{\text{К.ВОДЫ}}) = 62 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (12)$$

Средняя температура подтоварной воды:

$$\Delta t_{\text{ср.ГР.ВОДЫ}} := \Delta t_{\text{ср.ВОДЫ}} + \Delta t_{\text{ср}} = 74.408 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (13)$$

Далее на основании ориентировочной оценки коэффициента теплопередачи приближенно определяем поверхность теплообмена, выбираем конкретный вариант конструкции, а затем проводим уточненный расчет коэффициентов теплоотдачи, теплопередачи и требуемой поверхности.

Теплофизические свойства подтоварной воды [8]:

Трубное пространство с индексом "Т"

$$\rho_{\text{Т}} := 965 \text{ кг/м}^3 \text{ - плотность}$$

$$\lambda_{\text{Т}} := 0.58 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}} \text{ - теплопроводность}$$

$$c_{\text{Т}} := 4056 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}} \text{ - теплоемкость}$$

$$\mu_T := 0.712 \cdot 10^{-3} \text{ Па}\cdot\text{с} - \text{динамическая вязкость}$$

Теплофизические свойства хладагента, табл. XXXIX [9].

Межтрубное пространство с индексом "MT"

$$\rho_{MT} := 983 \text{ кг/м}^3 - \text{плотность}$$

$$\lambda_{MT} := 0.65 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}} \text{ теплопроводность}$$

$$c_{MT} := 4182 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot\text{К}} - \text{теплоемкость}$$

$$\mu_{MT} := 0.469 \cdot 10^{-3} \text{ Па}\cdot\text{с} - \text{динамическая вязкость}$$

Ориентировочное значение коэффициента теплопередачи принимаем по табл.4.8 [9]. При вынужденном движении при теплопередачи от жидкости к жидкости (воде) рекомендуется принимать ориентировочное значение коэффициента теплопередачи 140-340 Вт/(м²*К).

$$K_{op.min} := 140 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$$

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

Ориентировочная поверхность теплопередачи:

$$F_{op.max} := \frac{|Q|}{K_{op.min} \Delta t_{cp}} = 7.184 \text{ м}^2 \quad (14)$$

$$F_{op.min} := \frac{|Q|}{K_{op.max} \Delta t_{cp}} = 2.958 \text{ м}^2 \quad (15)$$

Подбираем стандартный кожухотрубчатый теплообменник согласно ТУ [10].

$$D := 273 \text{ мм} - \text{наружный диаметр теплообменника}$$

$$d := 20 \text{ мм} - \text{наружный диаметр трубок}$$

$$S_{TO} := 6.7 \text{ м}^2 - \text{поверхность теплообмена аппарата}$$

$L_{\text{раб}} := 1500 \text{ мм}$ - длина трубного пучка

$S_{\text{1хода}} := 0.013 \text{ м}^2$ - площадь проходного сечения одного хода

$S_{\text{пер}} := 0.0067 \text{ м}^2$ - площадь проходного сечения в вырезе перегородки

$S_{\text{меж.пер}} := 0.0124 \text{ м}^2$ - площадь проходного сечения между перегородками

$N := 69$ - количество труб в трубной решетке

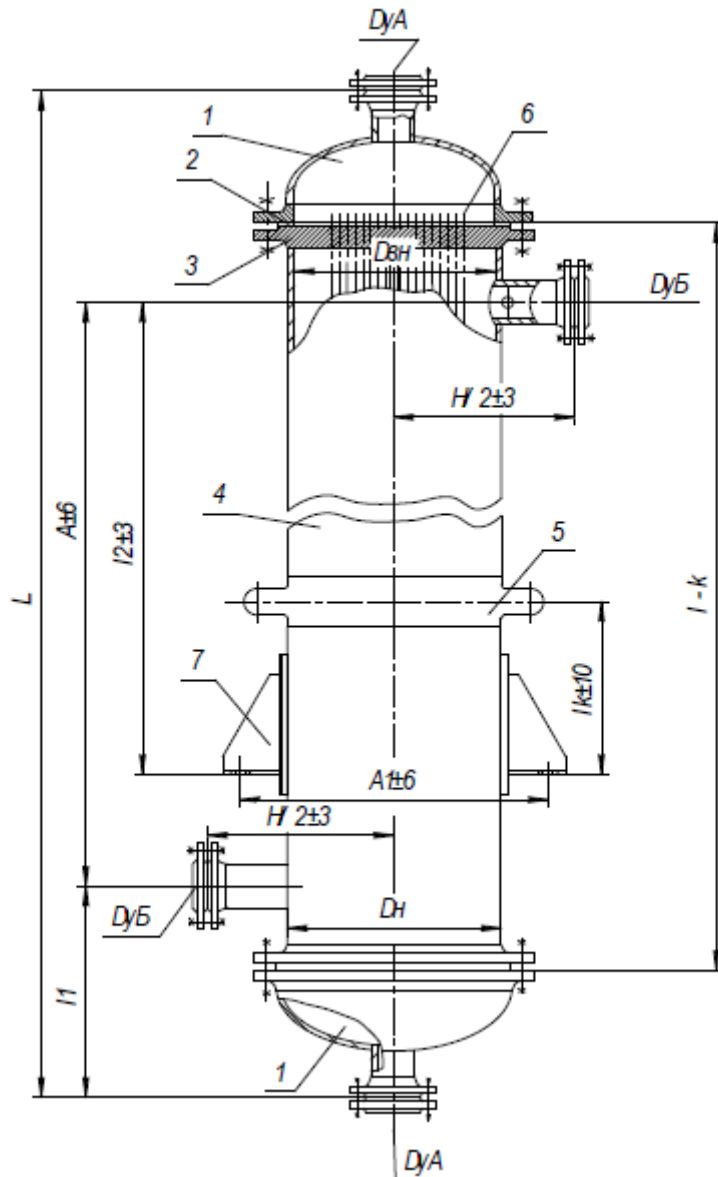


Рисунок 1 – Аппарат типов ТНВ, ТКВ, ХКВ одноходовые по трубам.

Объемные расходы теплоносителей:

$$V_T := \frac{G_{\text{Гр.воды}}}{\rho_T} = 1.036 \times 10^{-3} \frac{\text{м}^3}{\text{с}} \quad (16)$$

$$V_{\text{МГ}} := \frac{G_{\text{Воды}}}{\rho_{\text{МГ}}} = 1.807 \times 10^{-4} \frac{\text{м}^3}{\text{с}} \quad (17)$$

Определим скорость и критерий Рейнольдса для трубного пространства (подтоварной воды):

$$\omega_T := \frac{V_T}{S_{\text{1хода}}} = 0.076 \frac{\text{м}}{\text{с}} \quad (18)$$

$$\text{Re}_T := \frac{\omega_T \cdot \left(\frac{d-4}{1000} \right) \cdot \rho_T}{\mu_T} = 1.652 \times 10^3 \quad (19)$$

Скорость и критерий Рейнольдса для межтрубного пространства (циркуляционной воды):

$$\omega_{\text{МГ}} := \frac{V_{\text{МГ}}}{S_{\text{меж.пер}}} = 0.015 \frac{\text{м}}{\text{с}} \quad (20)$$

$$\text{Re}_{\text{МГ}} := \frac{\omega_{\text{МГ}} \cdot 0.02 \cdot \rho_{\text{МГ}}}{\mu_{\text{МГ}}} = 610.881 \quad (21)$$

Для потока в трубах при $\text{Re} < 10000$ значение $t_{\text{СТ}2}$ влияет на выбор вида расчетной формулы через средство произведения GrPr. Зададимся значениями $t_{\text{СТ}1}$ и $t_{\text{СТ}2}$, исходя из условия $t_2 < t_{\text{СТ}2} < t_{\text{СТ}1} < t_1$.

$$t_{\text{СТ}1} := 76 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$t_{\text{СТ}2} := 75 \text{ } ^\circ\text{C}$$

а) Коэффициент теплоотдачи для воды ($Re_{MT}=611$)

При смывании потоком трубного пучка, шахматном расположении труб, $Re < 1000$ применяется следующее соотношение [9]:

$$Nu = 0.56 \cdot \varepsilon_{\phi} \cdot Re^{0.5} Pr^{0.36} \cdot \left(\frac{Pr}{Pr_{ст}} \right)^{0.25} \quad (22)$$

Применительно к кожухотрубчатым теплообменникам с поперечными перегородками в вышеупомянутой формуле применяют коэффициент $\varepsilon_{\phi} = 0.6$, учитывая, что теплоноситель в межтрубном пространстве лишь часть пути движется поперек труб и под углом атаки, меньшем 90° , кроме того, он может протекать через щели между перегородками и кожухом или трубами [9].

$$\varepsilon_{\phi} := 0.6$$

$$Pr := 9.3$$

Критерий Прандтля для воды при температуре $20^{\circ}C$ [9].

Критерий Прандтля для подтоварной воды при температуре $t_{ст1}$:

$$Pr_{ст.1} := \frac{c_T \cdot \mu_T}{\lambda_T} = 4.979 \quad (23)$$

Тогда

$$Nu_1 := 0.56 \cdot \varepsilon_{\phi} \cdot Re_{MT}^{0.5} Pr^{0.36} \cdot \left(\frac{Pr}{Pr_{ст.1}} \right)^{0.25} = 21.667 \quad (24)$$

$$\alpha_1 := \frac{Nu_1 \cdot \lambda_{MT}}{0.021} = 670.654 \frac{Вт}{м^2 \cdot К} \quad (25)$$

б) Коэффициент теплоотдачи для подтоварной воды ($Re_T=1652$)

Для выбора расчетной формулы определим произведение (GrPr) при средней температуре пограничного слоя [9]:

$$t_2 := 0.5(t_{\text{ст.2}} + t_{\text{к.гр.воды}}) = 74.535 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (26)$$

$$x := (0 \ 20)^T$$

$$y := (0.36 \ 0.41)^T$$

$$\beta_2 := (\text{linterp}(x, y, t_2)) = 0.546 \text{ K}^{-1} \text{ по табл. XXXIII [9].} \quad (27)$$

Критерий Прандтля:

$$\text{Pr}_2 := \frac{\mu_T \cdot c_T}{\lambda_T} = 4.979 \quad (28)$$

$$g := 9.8 \frac{\text{M}}{\text{c}^2}$$

$$\text{Gr}_2 := \frac{g \cdot 0.016^3 \cdot \rho_T^2 \cdot \beta_2 \cdot (t_{\text{ст.2}} - 15)}{\mu_T^2} = 2.417 \times 10^9 \quad (29)$$

$$\text{Pr}_2 \cdot \text{Gr}_2 = 1.203 \times 10^{10} \quad (30)$$

По таблице 4.4 [9] определяем расчетную формулу нахождения критерия Nu.

Так как у нас протекает процесс нагревания, то принимаем [9]:

$$n := 0.14$$

$$\text{Nu}_2 := 0.022 \cdot \text{Re}_T^{0.8} \cdot \text{Pr}_2^{0.4} \cdot \left(\frac{\mu_T}{\mu_T} \right)^n = 15.695 \quad (31)$$

$$\alpha_2 := \frac{\text{Nu}_2 \cdot \lambda_T}{0.016} = 568.947 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}} \quad (32)$$

Принимаем:

$r_1 := 1860$ - тепловая проводимость загрязнений со стороны подтоварной воды по табл. XXXI [9].

$r_2 := 2900$ - тепловая проводимость загрязнений со стороны воды среднего качества по табл. XXXI [9].

Толщина труб 2 мм, материал - нержавеющая сталь; $\gamma_{\text{ст}}=17,5$ Вт/(м²*К). Сумма термических сопротивлений стенки и загрязнений (термическим сопротивлением со стороны пара можно пренебречь):

$$l_{\text{ст}} := 0.002 \text{ м}$$

Найдем общее термическое сопротивление:

$$R_{\text{шт}} := \frac{1}{r_1} + \frac{l_{\text{ст}}}{\lambda_{\text{ст}}} + \frac{1}{r_2} = 9.967 \times 10^{-4} \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}} \quad (33)$$

Коэффициент теплопередачи:

$$\frac{1}{\text{К}} = \frac{1}{\alpha_1} + R_{\text{шт}} + \frac{1}{\alpha_2} \quad (34)$$

$$\text{К} := \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + R_{\text{шт}} + \frac{1}{\alpha_2}} = 235.546 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}} \quad (35)$$

Расчетная поверхность теплопередачи:

$$F_p := \frac{|Q|}{\text{К} \cdot \Delta t_{\text{ср}}} = 4.27 \text{ м}^2 \quad (36)$$

Рассчитаем запас поверхности теплообмена, согласно принятому нами теплообменнику:

$$\Delta F := \frac{S_{\text{ТО}} - F_p}{S_{\text{ТО}}} \cdot 100 = 36.269 \% \quad (37)$$

Запас поверхности теплообмена нам вполне удовлетворяет.

Оставляем принятый нами теплообменник:

$D = 273$ мм - наружный диаметр теплообменника

$d = 20$ мм - наружный диаметр трубок

$S_{\text{ТО}} = 6.7$ м² - поверхность теплообмена аппарата

$L_{\text{раб}} = 1.5 \times 10^3$ мм - длина трубного пучка

$N = 69$ шт - количество труб в трубной решетке

3.4 Гидравлический расчет

3.4.1 Расчет диаметров патрубков

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

Посчитаем диаметр патрубка :

$$\omega_1 := 0.5 \text{ м/с}$$

$$d_T := \sqrt{\frac{4 \cdot V_T}{\pi \cdot \omega_1}} = 0.051 \text{ м} \quad (38)$$

Диаметр патрубка воды

$$\omega_2 := 0.5 \text{ м/с}$$

$$d_{MT} := \sqrt{\frac{4 \cdot V_{MT}}{\pi \cdot \omega_2}} = 0.021 \text{ м} \quad (39)$$

Примем патрубки теплообменника [11]:

Примем патрубки для подтоварной воды :

$$D_{CM} := 0.076 \text{ м, наружный диаметр}$$

$$s_{CM} := 0.0045 \text{ м, толщина стенки}$$

$$d_{CM} := 0.065 \text{ м, внутренний диаметр}$$

$$l_{CM} := 0.25 \text{ м, длина патрубка}$$

$$m_{CM} := \pi \cdot (D_{CM} - s_{CM}) \cdot s_{CM} \cdot l_{CM} \cdot 7800 = 1.971 \text{ кг} \quad (40)$$

Примем патрубки для воды :

$$D_K := 0.032 \text{ м, наружный диаметр}$$

$$s_K := 0.003 \text{ м, толщина стенки}$$

$$d_K := 0.026 \text{ м, внутренний диаметр}$$

$$l_K := 0.2 \text{ м, длина патрубка}$$

$$m_K := 0.43 \text{ кг, масса патрубка}$$

3.4.2 Расчет мощности для перекачки пластовой воды

$P_{\text{см}} := 0.1$ МПа, давление жидкости

$R_0 := 0.160$ м, радиус изгиба трубопровода

$h_{\text{под}} := 10$ м, высота подъема

$\eta := 0.55$ КПД насоса

$L := 80$ м, длина трубопровода

Далее производим гидравлический расчет по примеру 1.24 [9].

Площадь поперечного сечения:

$$S := \pi \cdot \frac{D_{\text{см}}^2}{4} = 4.536 \times 10^{-3} \text{ м}^2 \quad (41)$$

Скорость подтоварной воды:

$$\omega_{\text{см}} := \omega_{\text{T}} = 0.076 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$$\rho_{\text{T}} = 965 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

Критерий Рейнольдса:

$$Re := \frac{\omega_{\text{см}} \cdot D_{\text{см}} \cdot \rho_{\text{T}}}{\mu_{\text{T}}} = 7.849 \times 10^3 \quad (42)$$

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

$$e := 0.0002 \text{ м}$$

$$\lambda := 0.031$$

$$\frac{D_{\text{см}}}{e} = 380 \quad (43)$$

Коэффициенты местных сопротивлений из табл. XIII [9]:

$$\zeta_1 := 0.5$$

$$\zeta_3 := 2 \cdot 0.55 = 1.1 \quad (44)$$

$$\frac{R_0}{D_{\text{см}}} = 2.105 \quad (45)$$

$$A_\zeta := 1, \text{ т.к. } 90^\circ$$

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

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

$$B_\zeta := \left(\text{linterp} \left(x, y, \frac{R_0}{D_{\text{см}}} \right) \right) = 0.144 \quad (46)$$

$$\zeta_4 := A_\zeta \cdot B_\zeta = 0.144$$

$$\text{отвод при } 90^\circ \text{ и } \frac{R_0}{D_{\text{см}}} = 2.105$$

$$\zeta := \zeta_1 + \zeta_3 + \zeta_4 = 1.744 \quad (47)$$

$$g := 10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$$

Общее сопротивление трубы (сети):

$$\Delta p_{\text{тр}} := 1.8 \left[\rho_T \cdot \left[\omega_{\text{см}}^2 \left(1 + \zeta + \lambda \cdot \frac{L}{D_{\text{см}}} \right) \right] + \rho_T \cdot g \cdot h_{\text{под}} + P_{\text{см}} \cdot g \right] = 1.741 \times 10^5 \text{ Па} \quad (48)$$

Далее определим разность давлений на концах трубопровода (удельную потерю механической энергии):

Решение:

Скорость движения подтоварной воды по трубам:

$$N = 69 \text{ шт}$$

$$\omega_{\text{пв}} := \frac{\frac{\omega_{\text{см}}}{\rho_T}}{N \cdot 0.785 \cdot 0.016^2} = 5.694 \times 10^{-3} \frac{\text{м}}{\text{с}} \quad (49)$$

N - количество труб в трубной решетке

0.016 - внутренний диаметр труб, м

Значение критерия Рейнольдса:

$$Re_{\text{труб}} := \omega_{\text{ПВ}} \cdot 0.016 \cdot \frac{\rho_{\text{T}}}{\mu_{\text{T}}} = 123.485 \quad (50)$$

Для стальных труб с незначительной коррозией шероховатость $e=0,2$ мм по табл. VIII [9], при этом:

$$d := 16 \text{ мм}$$

$$e := 0.2 \text{ мм}$$

$$\frac{d}{e} = 80$$

По рисунку 1.4 [9] определяем коэффициент трения:

$$\lambda_{\text{трения}} := 0.035$$

Скорость подтоварной воды в штуцерах:

$$\omega_{\text{шт}} := \frac{\frac{G_{\text{гр.воды}}}{\rho_{\text{T}}}}{0.785 \cdot 0.056^2} = 0.421 \frac{\text{м}}{\text{с}} \quad (51)$$

Значения коэффициентов местных сопротивлений для кожухотрубчатых теплообменников в трубном пространстве:

Вход в первую камеру и выход из второй камеры $\zeta=1,5$, при одинаковой скорости теплоносителя во входном и выходном штуцерах. Вход в теплообменные трубки и выход из них (для каждого хода $\zeta=1$ при скорости в теплообменных трубках) [9].

$$\zeta_i := 1.5 \cdot \frac{\rho_{\text{T}} \cdot \omega_{\text{ПВ}}}{2} + 1.5 \cdot \frac{\rho_{\text{T}} \cdot \omega_{\text{ПВ}}}{2} + 1 \cdot \frac{\rho_{\text{T}} \cdot \omega_{\text{шт}}}{2} + 1 \cdot \frac{\rho_{\text{T}} \cdot \omega_{\text{шт}}}{2} = 414.456 \quad (52)$$

$$n_{\text{к}} := 1 \text{ - число ходов в теплообменнике}$$

Потери давления на работу против сил трения в трубах находятся по первому слагаемому формулы:

$$\Delta p_{\text{трубн}} := \lambda_{\text{трения}} \cdot \frac{L}{0.016} \cdot \frac{\rho_{\text{T}} \cdot \omega_{\text{ПВ}}}{2} \cdot n_{\text{к}} + \zeta_i = 895.277 \text{ Па} \quad (53)$$

Потребляемая насосом мощность по уравнению:

$$\Delta p_t := \Delta p_{тр} + \Delta p_{трубн} = 1.75 \times 10^5 \text{ Па} \quad (54)$$

$$N_{см} := \frac{V_T \cdot \Delta p_t}{1000 \eta} = 0.33 \text{ кВт} \quad (55)$$

По табл.3 приложения 1.1 [12] подбираем наиболее подходящий двигатель.

Центробежный многоступенчатый секционный насос марки X2/25, для которого при оптимальных условиях работы $Q=4.2 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3/\text{с}$, $H=25 \text{ м}$, $\eta_n=0.76$, номинальной мощностью $N_n=1.1 \text{ кВт}$.

3.4.3 Расчет мощности для перекачки циркуляционной воды

Далее производим гидравлический расчет по примеру 1.23 [9].

Площадь поперечного сечения:

$$S := \pi \cdot \frac{(D_K)^2}{4} = 8.042 \times 10^{-4} \text{ м}^2 \quad (56)$$

Расход циркуляционной воды:

$$G_{\text{ВОДЫ}} = 0.178 \frac{\text{кг}}{\text{с}}$$

Объемный расход циркуляционной воды:

$$\rho_{\text{МГ}} = 983 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

$$V_{\text{МГ}} = 1.807 \times 10^{-4} \frac{\text{м}^3}{\text{с}}$$

$$\omega_{\text{МГ}} = 0.015 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

Критерий Рейнольдса:

$$Re := \frac{\omega_{\text{МГ}} \cdot D_K \cdot \rho_{\text{МГ}}}{\mu_{\text{МГ}}} = 977.41 \quad (57)$$

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

$$e := 0.0002 \text{ м}$$

$$\lambda := 0.031$$

$$\frac{D_K}{e} = 160$$

Коэффициенты местных сопротивлений из табл. XIII [9]:

$$\zeta_1 := 0.5$$

$$\zeta_2 := 2 \cdot 0.55 = 1.1$$

$$\frac{R_0}{D_{\text{СМ}}} = 2.105$$

$$A_{\zeta} := 1, \text{т.к. } 90^0$$

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

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

$$B_{\zeta} := \left(\text{linterp} \left(x, y, \frac{R_0}{D_{\text{см}}} \right) \right) = 0.144 \quad (58)$$

$$\zeta_4 := A_{\zeta} \cdot B_{\zeta} = 0.144$$

$$\text{отвод при } 90^0 \text{ и } \frac{R_0}{D_{\text{см}}} = 2.105$$

$$\zeta := \zeta_1 + \zeta_3 + \zeta_4 = 1.744 \quad (59)$$

$$g := 10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$$

Общее сопротивление трубы (сети):

$$\Delta p_{\text{тр}} := 1.8 \left[\rho_T \cdot \left[\omega_{\text{см}}^2 \left(1 + \zeta + \lambda \cdot \frac{L}{D_{\text{см}}} \right) \right] + \rho_T \cdot g \cdot h_{\text{под}} + P_{\text{см}} \cdot g \right] = 1.741 \times 10^5 \text{ Па} \quad (60)$$

$$N_{\text{мг}} := \frac{V_T \cdot \Delta p_{\text{тр}}}{1000 \eta} = 0.328 \text{ кВт} \quad (61)$$

По табл.3 приложения 1.1 [12] подбираем наиболее подходящий двигатель.

Центробежный многоступенчатый секционный насос марки X2/25, для которого при оптимальных условиях работы $Q=4.2 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3/\text{с}$, $H=25 \text{ м}$, $\eta=0.76$, номинальной мощностью $N_n=1.1 \text{ кВт}$.

3.5 Конструктивный расчет теплообменника

Определим площадь проходного сечения трубок одного хода, приняв скорость движения жидкости из гидравлического расчета [7]:

$$\omega_T = 0.076 \text{ м/с}$$

$$f := \frac{G_{\text{Гр.ВОДЫ}}}{\rho_T \cdot \omega_T} = 0.014 \text{ м}^2 \quad (62)$$

Диаметр трубок в трубном пучке:

$$d_B := 0.016 \text{ м}$$

$$d_H := 0.02 \text{ м}$$

$$n_1 := \frac{f}{0.785 \cdot d_B^2} = 67.675 \quad (63)$$

Расчетная длина одной трубки при одном ходе:

$$F_{\text{ТТ}} := S_{\text{ТО}} = 6.7 \text{ м}^2$$

$$\alpha_1 = 670.654$$

$$\alpha_2 = 568.947$$

$$d_p := \begin{cases} d_B & \text{if } \alpha_2 > \alpha_1 \\ d_H & \text{if } \alpha_2 < \alpha_1 \\ 0.5 \cdot (d_B + d_H) & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$d_p = 0.02 \text{ м}$$

$$L_{\text{тр}} := \frac{1000F}{\pi \cdot d_p \cdot n_1} = 1.576 \times 10^3 \text{ мм, требуемая длина трубок} \quad (64)$$

$$L_{\text{раб}} = 1.5 \times 10^3 \text{ мм, рабочая длина труб}$$

Число ходов в теплообменнике:

$$Z := \frac{L_{\text{тр}}}{L_{\text{раб}}} = 1.05 \quad (65)$$

Принимаем число ходов 1.

$$Z := 1$$

Общее число трубок:

$$n_{\text{общ}} := Z \cdot n_1 = 67.675 \quad (66)$$

Принимаем количество трубок, как и было, принято ранее 69 шт.

Определим число труб, расположенных на диагонали:

$$3a \cdot (a - 1) = n - 1 \quad (67)$$

$$3a^2 - 3a - 71 = 0 \quad (68)$$

$$D := (-3)^2 - 4 \cdot 3 \cdot (-71) = 861 \quad (69)$$

$$a_{1,2} = \frac{-b \pm \sqrt{D}}{2a} \quad (70)$$

$$a_1 := \frac{-3 + \sqrt{D}}{2 \cdot 3} = 4.39 \quad (71)$$

$$a_2 := \frac{-3 - \sqrt{D}}{2 \cdot 3} = -5.39 \quad (72)$$

$$b := \text{ceil}(2a_1 - 1) = 8 \quad (73)$$

Шаг труб:

$$t := 1.2 \cdot d_H + 0.002 = 0.026 \text{ м} \quad (74)$$

Диаметр теплообменника находим из соотношения:

$$D_{\text{вн}} := t \cdot (b - 1) + d_H = 0.202 \text{ D} = 273 \quad (75)$$

Подобранный нами стандартный теплообменник удовлетворяет всем параметрам согласно конструктивному расчету.

3.5.1 Расчет толщины стенки корпуса аппарата

Расчет толщин стенок аппарата выполняем согласно [13].

$$L_{об} := L_{раб} = 1.5 \times 10^3 \text{ мм}$$

$$D = 273 \text{ мм}$$

$$t := \Delta t_{ср.воды} = 62 \text{ }^\circ\text{C, температура воды}$$

$$P_{сма} := 0.1 \text{ МПа, давление в трубном пространстве}$$

$$P_{г.п.} := 0.1 \text{ МПа, давление в межтрубном пространстве}$$

Допускаемое напряжение стали при рабочей температуре (12x18н10т)

[14]:

$$\sigma_{t1к} := 0.83 \cdot 127 = 105.41 \text{ МПа} \quad (76)$$

$$\sigma_{t20} := 0.83 \cdot 184 = 152.72 \text{ МПа, допускаемое напряжение материала при}$$

нормальных условиях (77)

$$\eta := 1, \text{ коэффициент запаса прочности [14].}$$

$$R_{02} := 276 \text{ МПа, предел текучести при 20 градусах [14].}$$

$$\eta_y := 2.4, \text{ коэффициент запаса устойчивости для рабочих условий [14].}$$

$\eta_t := 1.2$, коэффициент запаса по пределу текучести для пневматических условий [14].

Для условий испытания сосудов из углеродистых, низколегированных, ферритных, аустенитно-ферритных мартенситных сталей и сплавов на железоникелевой основе допускаемое напряжение вычисляют по формуле[14]:

$$\sigma_{и} := \frac{R_{02}}{\eta_t} = 230 \text{ МПа} \quad (78)$$

Пробное давление при испытании при рабочем давлении $p=0.1$ МПа в соответствии с Правилами устройства и безопасной эксплуатации сосудов, работающих под давлением (ПБ 03-576-03) для сварных аппаратов [15]:

$$p_{\text{и}} := 1.25(p_{\text{Г.п.}}) \cdot \frac{\sigma_{\text{т20}}}{\sigma_{\text{т1к}}} = 0.181 \text{ МПа} \quad (79)$$

Под расчетным давлением в условиях испытаний для элементов сосудов или аппаратов следует принимать давление, которому они подвергаются во время пробного испытания, включая гидростатическое давление.

Расчетное давление будет равным:

$$\rho := \rho_{\text{МТ}} = 983 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} - \text{плотность циркуляционной воды}$$

$$g = 10 \frac{\text{м}}{\text{с}} - \text{ускорение свободного падения}$$

$$H := \frac{L_{\text{раб}}}{1000} = 1.5 \text{ м, высота трубного пучка} \quad (80)$$

$$P_{\text{рас}} := p_{\text{и}} + \frac{\rho \cdot g \cdot H}{10^6} = 0.196 \text{ МПа} \quad (81)$$

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

$$s \geq s_p + c$$

ϕ - коэффициент прочности продольного сварного шва

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

$$\phi_p := 0.9 \text{ [с.22,8]}$$

$$s_{p1} := \max \left[\frac{P_{\text{рас}} \cdot D}{2 \cdot \phi_p \cdot \sigma_{\text{и}} - P_{\text{рас}}}, \frac{(p_{\text{Г.п.}}) \cdot D}{2 \cdot \sigma_{\text{т1к}} \cdot \phi_p - (p_{\text{Г.п.}})} \right] = 0.144 \text{ мм} \quad (82)$$

$$s_p := \text{ceil}(s_{p1}) = 1 \text{ мм, расчетная толщина стенки}$$

$$c := 3 \text{ мм, прибавка на коррозию и эрозию}$$

$$s := s_p + c = 4 \text{ мм} \quad (83)$$

$$Us1 := \begin{cases} \text{"Условие применения формул выполняется"} & \text{if } \frac{s-c}{D} < 0.1 \\ \text{"Условия применения формул НЕ выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Us1 = "Условие применения формул выполняется"

Допускаемое внутреннее избыточное давление:

$$p_d := \frac{2 \cdot \sigma_{t1k} \cdot \phi_p \cdot (s - c)}{D + (s - c)} \quad (84)$$

$$p_d = 0.692 \text{ МПа}$$

Проверка на условие прочности

$$Us1 := \begin{cases} \text{"Условие прочности выполняется"} & \text{if } (p_{г.п.}) \leq p_d \\ \text{"Условия прочности НЕ выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Us1 = "Условие прочности выполняется"

3.5.2 Расчет толщины стенки стандартной эллиптической крышки (днища)

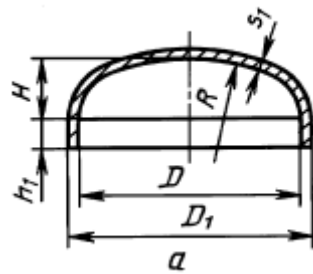


Рисунок 2 - Эллиптическая крышка

$$H := 0.25 D \quad (85)$$

$H = 68.25$ мм - высота выпуклой части днища без учета цилиндрической части

$$Us1 := \begin{cases} \text{"Условие применения формул выполняется"} & \text{if } 0.2 \leq \frac{H}{D} \leq 0.5 \\ \text{"Условия применения формул НЕ выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$Us1 = \text{"Условие применения формул выполняется"}$

ϕ - коэффициент прочности сварных швов

$\phi := 1$ - для крышек изготовленных из одной заготовки

$$R := \frac{D^2}{4H} \quad (86)$$

$R = 273$ - радиус кривизны в вершине крышки по внутренней поверхности

$$\underline{R} := \text{ceil}(R)$$

$R = 273$ мм

$$s_{1p} := \max \left[\frac{P_{\text{рас}} \cdot R}{2 \cdot \phi_p \cdot \sigma_{\text{и}} - 0.5 P_{\text{рас}}}, \frac{(p_{\text{Г.п.}}) \cdot R}{2 \cdot \sigma_{\text{т1к}} \cdot \phi_p - 0.5 (p_{\text{Г.п.}})} \right] = 0.144 \text{ мм - расчетная}$$

толщина стенки крышки (87)

$$s_2 := \text{ceil}(s_{1p} + c) = 4 \text{ мм - исполнительная толщина стенки крышки} \quad (88)$$

Допускаемое внутреннее избыточное давление

$$p_{d1} := \frac{2 \cdot \sigma_{t1k} \cdot \phi \cdot (s_2 - c)}{R + 0.5(s_2 - c)} \quad (89)$$

$$p_{d1} = 0.771 \text{ МПа}$$

Проверка на условие прочности

$$U_{s1} := \begin{cases} \text{"Условие прочности выполняется"} & \text{if } P_{cm} \leq p_{d1} \\ \text{"Условия прочности НЕ выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$U_{s1} = \text{"Условие прочности выполняется"}$$

$$h_1 := 0.8 \cdot \sqrt{D \cdot (s_2 - c)} = 13.218 \quad (90)$$

3.5.3 Расчет укрепления отверстий при внутреннем и внешнем давлениях

Расчет производим согласно стандарту [16].

Марка стали 12Х18Н10Т

Расчетная температура:

$$t = 62 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Допускаемое напряжение в рабочем состоянии при $t = 62 \text{ } ^\circ\text{C}$:

$$\sigma_{\text{д}} := 10^6 \sigma_{\text{т1к}} = 1.054 \times 10^8 \text{ Па} \quad (91)$$

Внутреннее расчетное давление:

$$P_{\text{в}} := 10^6 P_{\text{см}} = 1 \times 10^5 \text{ Па}$$

Внешнее расчетное давление:

$$P_{\text{н}} := 1 \cdot 10^5 \text{ Па}$$

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

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

Внутренний диаметр оболочки (максимальный):

$$D := 273 \text{ мм}$$

Длина неукрепленной части оболочки:

$$l := 200 \text{ мм}$$

Расстояние от центра укрепления отверстия до оси оболочки:

$$r := 100 \text{ мм}$$

Исполнительная ширина накладного кольца:

$$l_3 := 20 \text{ мм}$$

Исполнительная толщина стенки оболочки:

$$s := 4 \text{ мм}$$

Исполнительная толщина накладного кольца:

$$s_2 := 2 \text{ мм}$$

Диаметр отверстия:

$$d := 76 \text{ мм}$$

Длина внешней части штуцера:

$$l_1 := 140 \text{ мм}$$

Длина внутренней части штуцера:

$$l_2 := 3 \text{ мм}$$

Прибавка к расчетной толщине стенки:

$$c := 1 \text{ мм}$$

Коэффициент прочности сварных швов:

$$\phi := 1$$

Высота стандартного эллиптического днища:

$$H := 0.25 \cdot D = 68.25 \text{ мм} \quad (92)$$

Толщину стенки штуцера принимаем:

$$s_1 := s$$

Половина угла раствора при вершине конической обечайки:

$$\alpha := \frac{3.14 \cdot 35}{180} \quad (93)$$

$$\alpha = 0.611$$

Радиус кривизны в вершине днища по внутренней поверхности:

$$R := 273 \text{ мм}$$

Угол между осью накладного штуцера и нормалью к поверхности конической оболочки:

$$\gamma := \frac{60 \cdot 3.14}{180} \quad (94)$$

$$\gamma = 1.047$$

Нормальный модуль упругости:

$$E_1 := 1.91 \cdot 10^{11} \text{ Па}$$

Коэффициент Пуассона:

$$\mu_1 := 0.3$$

Коэффициент запаса устойчивости:

$$n_y := 2.4$$

Диаметр основания конической оболочки:

$$D1 := 273 \text{ мм}$$

Средний диаметр оболочки у отверстия:

$$Dc := 273 \text{ мм}$$

Средний радиус оболочки у штуцера:

$$dc := 38 \text{ мм}$$

Средний диаметр штуцера

$$Rc := \frac{Dc}{2} = 136.5 \text{ мм}$$

(95)

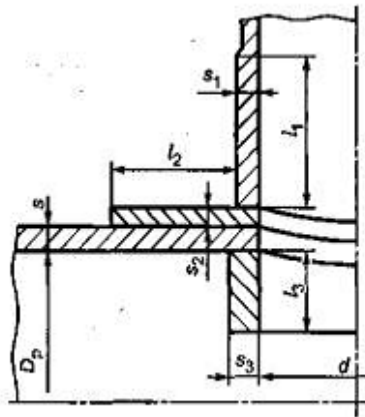


Рисунок 3 - Основная расчетная схема соединения штуцера со стенкой сосуда

$n = 2$ Эллиптическая оболочка

$$\text{Тип} := \begin{cases} \text{"цилиндрическая оболочка"} & \text{if } n = 1 \\ \text{"эллиптическая оболочка"} & \text{if } n = 2 \\ \text{"коническая оболочка"} & \text{if } n = 3 \\ \text{"сферическая оболочка"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Тип = "эллиптическая оболочка"

Длина переходной части в конической обечайки:

$$a1 := 0.7 \cdot \sqrt{\frac{D}{\cos(\alpha)} \cdot (s - c)} \quad (96)$$

Диаметр гладкой конической обечайки без тороидального перехода:

$$Dк := D - 1.4 \cdot a1 \cdot \sin(\alpha) \quad (97)$$

Диаметры укрепляемых элементов:

$$D_p := \begin{cases} D_p \leftarrow D & \text{if } n = 1 \\ D_p \leftarrow \left[\frac{D^2}{2 \cdot H} \cdot \sqrt{1 - 4 \cdot \left(\frac{D^2 - 4 \cdot H^2}{D^4} \right) \cdot r^2} \right] & \text{if } n = 2 \\ D_p \leftarrow \frac{D_k}{\cos(\alpha)} & \text{if } n = 3 \\ D_p \leftarrow 2 \cdot R & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$D_p = 422.038 \text{ мм}$$

Расчетный диаметр отверстия в стенке обечайки:

$$d_p := \begin{cases} d_p \leftarrow d + 2 \cdot c & \text{if } n = 1 \\ d_p \leftarrow \frac{d + 2 \cdot c}{\sqrt{1 - \left(\frac{2 \cdot r}{D_p} \right)^2}} & \text{if } n = 2 \\ d_p \leftarrow \frac{d + 2 \cdot c}{\cos(\gamma)} & \text{if } n = 3 \\ d_p \leftarrow d + 2 \cdot c & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$d_p = 88.578 \text{ мм}$$

$$\text{Прим} := \begin{cases} \text{"Отношение диаметров НЕ выполняется"} & \text{if } \left(\frac{d_p - 2 \cdot c}{D} > 1 \right) \text{ if } n = 1 \\ \left(\frac{d_p - 2 \cdot c}{D} > 0.6 \right) & \text{if } n = 2 \\ \left(\frac{d_p - 2 \cdot c}{D_k} > 1 \right) & \text{if } n = 3 \\ \left(\frac{d_p - 2 \cdot c}{D} > 0.6 \right) & \text{otherwise} \\ \text{"Отношение толщины к диаметру НЕ выполняется"} & \text{if } \left(\frac{s - c}{D} > 0.1 \right) \text{ if } n = 1 \\ \left(\frac{s - c}{D} > 0.1 \right) & \text{if } n = 2 \\ \frac{s - c}{D_k} > \frac{0.1}{\cos(\alpha)} & \text{if } n = 3 \\ \left(\frac{s - c}{D} > 0.1 \right) & \text{otherwise} \\ \text{"Условия применения формул выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Тип = "эллиптическая оболочка"

Прим = "Условия применения формул выполняются"

Расчет при внутреннем давлении.

Расчетные толщины стенок укрепляемых элементов:

$$sp := \begin{cases} \frac{P_B \cdot D_p}{2 \cdot \phi \cdot \sigma_D - P_B} & \text{if } n = 1 \\ \frac{P_B \cdot D_p}{4 \cdot \phi \cdot \sigma_D - P_B} & \text{if } n = 2 \\ \frac{P_B \cdot D_p}{2 \cdot \phi \cdot \sigma_D - P_B} \cdot \frac{1}{\cos(\alpha)} & \text{if } n = 3 \\ \frac{P_B \cdot D_p}{4 \cdot \phi \cdot \sigma_D - P_B} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\sigma_D = 1.054 \times 10^8$$

$$sp = 0.1 \text{ мм}$$

Расчетная толщина стенки штуцера:

$$s_{p1} := \frac{P_B \cdot (d + 2 \cdot c)}{2 \cdot \sigma_D \cdot \phi - P_B} \quad (98)$$

$$s_{p1} = 0.037 \text{ мм}$$

Расчетные длины штуцеров:

$$l_{1p} := \min \left[11, \sqrt{(d + 2 \cdot c) \cdot (s_1 - c)} \right] \quad (99)$$

$$l_{1p} = 15.297 \text{ мм}$$

$$l_{2p} := \min \left[12, 0.5 \cdot \sqrt{(d + 2 \cdot c) \cdot (s - 2c)} \right] \quad (100)$$

$$l_{2p} = 3 \text{ мм}$$

Расчетная ширина накладного кольца:

$$l_{3p} := \min \left[13, \sqrt{D_p \cdot (s + s_2 - c)} \right] \quad (101)$$

$$l_{3p} = 20 \text{ мм}$$

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

$$l_p := \sqrt{D_p \cdot (s - c)} \quad (102)$$

$$l_p = 35.582 \text{ мм}$$

Отношения допускаемых напряжений:

для внешней части штуцера

$$\chi_1 := \min \left(1, \frac{\sigma_{D1}}{\sigma_D} \right) \quad (103)$$

$$\chi_1 = 1$$

для внутренней части штуцера:

$$\chi_2 := \min \left(1, \frac{\sigma_{D1}}{\sigma_D} \right) \quad (104)$$

$$\chi_2 = 1$$

для накладного кольца

$$\chi_3 := \min\left(1, \frac{\sigma_d}{\sigma_d}\right) \quad (105)$$

$$\chi_3 = 1$$

Расчетный диаметр одиночного отверстия, не требующий дополнительного укрепления:

$$d_{0p} := 0.4 \cdot \sqrt{D_p \cdot (s - c)} \quad (106)$$

$$d_{0p} = 14.233 \text{ мм}$$

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

$$d_0 := 2 \cdot \left[\left(\frac{s - c}{s_p} \right) - 0.8 \right] \cdot \sqrt{D_p \cdot (s - c)} = 2.075 \times 10^3 \text{ мм} \quad (107)$$

$$\text{Пров1} := \begin{cases} \text{"необходимо укрепление отверстия"} & \text{if } d_0 < d_p \\ \text{"укрепление отверстия не требуется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Тип = "эллиптическая оболочка"

Пров1 = "укрепление отверстия не требуется"

Расчет при внешнем давлении

Коэффициент B_1 для цилиндрической оболочки:

$$B_1 := \max\left[1.0, 0.47 \left(\frac{P_H}{10^{-5} \cdot E_1} \right)^{0.067} \cdot \left(\frac{1}{D_p} \right)^{0.4} \right] = 1 \quad (108)$$

$$B_1 = 1$$

Коэффициент K_ε для эллиптической и сферической оболочек:

$$x := 10 \cdot \frac{(s - c)}{D} \cdot \left(\frac{D_p}{2 \cdot H} - 2 \cdot \frac{H}{D_p} \right) \quad (109)$$

$$x = 0.304$$

$$K_\varepsilon := \frac{1 + (2.4 + 8 \cdot x) \cdot x}{1 + (3 + 10 \cdot x) \cdot x} \quad (110)$$

$$K_\varepsilon = 0.87$$

Определение эквивалентного диаметра конического днища:

$$D_e := \max \left[\left[\frac{D_p + D1}{2 \cdot \cos(\alpha)} \cdot \frac{D_p}{\cos(\alpha)} - 0.31 \cdot (D_p + D1) \cdot \sqrt{\frac{D_p + D1}{(s - c)} \cdot \tan(\alpha)} \right] \right] = 424.15 \quad (111)$$

$$D_e = 424.15 \text{ мм}$$

Определение длины конического днища

$$L_e := \frac{D_p - D1}{2 \cdot \sin(\alpha)} \quad (112)$$

$$L_e = 129.977 \text{ мм}$$

Определение коэффициента B2 для конической оболочки:

$$B_2 := \min \left[\left[1.0 \cdot \frac{9.45 \cdot D_e}{L_e} \cdot \sqrt{\frac{D_e}{100 \cdot (s - c)}} \right] \right] = 1 \quad (113)$$

$$B_2 = 1$$

Расчетная толщины стенок укрепляемых элементов:

$$s_p := \begin{cases} \max \left[1.06 \cdot \frac{10^{-2} \cdot D_p}{B_1} \cdot \left(\frac{P_H}{10^{-5} \cdot E_1} \cdot \frac{1}{D_p} \right)^{0.4}, \frac{P_H \cdot D_p \cdot 1.2}{2 \cdot \sigma_d - P_H} \right] & \text{if } n = 1 \\ \max \left(\frac{K_э \cdot D_p}{161} \cdot \sqrt{\frac{n_y \cdot P_H}{10^{-5} \cdot E_1}}, \frac{1.2 \cdot P_H \cdot D_p}{2 \cdot \sigma_d} \right) & \text{if } n = 2 \\ \max \left[1.06 \cdot \frac{10^{-2} \cdot D_e}{B_2} \cdot \left(\frac{P_H}{10^{-5} \cdot E_1} \cdot \frac{L_e}{D_e} \right)^{0.4}, \frac{1.2 \cdot P_H \cdot D_p}{2 \cdot \phi \cdot \sigma_d - P_H} \cdot \frac{1}{\cos(\alpha)} \right] & \text{if } n = 3 \\ \max \left(\frac{K_э \cdot \frac{D_p}{2}}{161} \cdot \sqrt{\frac{n_y \cdot P_H}{10^{-5} \cdot E_1}}, \frac{1.2 \cdot P_H \cdot \frac{D_p}{2}}{2 \cdot \sigma_d} \right) & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$s_p = 0.809 \text{ мм}$$

Тип = "эллиптическая оболочка"

Расчетная толщина стенки штуцера:

$$s_{p1} := \frac{P_H \cdot (d + 2 \cdot c)}{2 \cdot \sigma_d \cdot \phi - P_H} \quad (114)$$

$$s_{p1} = 0.037 \text{ мм}$$

Расчетные длины штуцеров:

$$l_{1p} := \min \left[11, \sqrt{(d + 2 \cdot c) \cdot (s_1 - c)} \right] \quad (115)$$

$$l_{1p} = 15.297 \text{ мм}$$

$$l_{2p} := \min \left[12, 0.5 \cdot \sqrt{(d + 2 \cdot c) \cdot (s - 2c)} \right] \quad (116)$$

$$l_{2p} = 3 \text{ мм}$$

Расчетная ширина накладного кольца:

$$l_{3p} := \min \left[13, \sqrt{D_p \cdot (s + s_2 - c)} \right] \quad (117)$$

$$l_{3p} = 20 \text{ мм}$$

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

$$l_p := \sqrt{D_p \cdot (s - c)} \quad (118)$$

$$l_p = 35.582 \text{ мм}$$

Отношения допускаемых напряжений:

для внешней части штуцера

$$\chi_{1\lambda} := \min \left(1, \frac{\sigma_{д1}}{\sigma_{д}} \right) \quad (119)$$

$$\chi_1 = 1$$

для внутренней части штуцера:

$$\chi_{2\lambda} := \min \left(1, \frac{\sigma_{д1}}{\sigma_{д}} \right) \quad (120)$$

$$\chi_2 = 1$$

для накладного кольца

$$\chi_{3\lambda} := \min \left(1, \frac{\sigma_{д}}{\sigma_{д}} \right) \quad (121)$$

$$\chi_3 = 1$$

Расчетный диаметр одиночного отверстия, не требующий дополнительного укрепления:

$$d_{0p} := 0.4 \cdot \sqrt{D_p \cdot (s - c)} \quad (122)$$

$$d_{0p} = 14.233 \text{ мм}$$

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

$$d_0 := 2 \cdot \left[\left(\frac{s - c}{sp} \right) - 0.8 \right] \cdot \sqrt{D_p \cdot (s - c)} \quad (123)$$

$$d_0 = 207.017 \text{ мм}$$

$$\text{Пров1} := \begin{cases} \text{"необходимо укрепление отверстия"} & \text{if } d_0 < d_p \\ \text{"укрепление отверстия не требуется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Тип = "эллиптическая оболочка"

Пров1 = "укрепление отверстия не требуется"

Допускаемое наружное давление:

$$V_3 := \min \left[1.0, 9.45 \frac{D_p}{l} \cdot \sqrt{\frac{D_p}{100 \cdot (s - c)}} \right] = 1$$

$$V_4 := \min \left[1.0, 9.45 \frac{D_e}{Le} \cdot \sqrt{\frac{D_e}{100 \cdot (s - c)}} \right] = 1$$

Определим допускаемое давление от устойчивости в пределах упругости:

$$P_{дЕ} := \begin{cases} \frac{20.8 \cdot 10^{-6} \cdot E_1 \cdot D_p}{n_y \cdot B_3} \cdot \frac{1}{1} \cdot \left[\frac{100 \cdot (s - c)}{D_p} \right]^{2.5} & \text{if } n = 1 \\ \frac{2.6 \cdot 10^{(-6)} \cdot E_1}{n_y} \cdot \left[\frac{100 \cdot (s - c)}{K_э \cdot D_p} \right]^2 & \text{if } n = 2 \\ \frac{20.8 \cdot 10^{(-6)} \cdot E_1 \cdot D_e}{n_y \cdot B_1} \cdot \frac{D_e}{Le} \cdot \left[\frac{100 \cdot (s - c)}{D_e} \right]^{2.5} & \text{if } n = 3 \\ \frac{2.6 \cdot 10^{(-6)} \cdot E_1}{n_y} \cdot \left[\frac{100 \cdot (s - c)}{K_э \cdot \frac{D_p}{2}} \right]^2 & \text{if } n = 4 \end{cases}$$

$$P_{дЕ} = 1.38 \times 10^5 \text{ Па}$$

.Допускаемое давление из условия прочности:

$$P_{дП} := \begin{cases} \frac{2 \cdot \sigma_d \cdot (s - c)}{D_p + (s - c)} & \text{if } n = 1 \\ \frac{2 \cdot \sigma_d \cdot (s - c)}{D_p + 0.5(s - c)} & \text{if } n = 2 \\ \frac{2 \cdot \sigma_d \cdot (s - c)}{\left(\frac{D_p}{\cos(\alpha)} \right) + (s - c)} & \text{if } n = 3 \\ \frac{2 \cdot \sigma_d \cdot (s - c)}{\frac{D_p}{2} + 0.5(s - c)} & \text{otherwise} \end{cases}$$

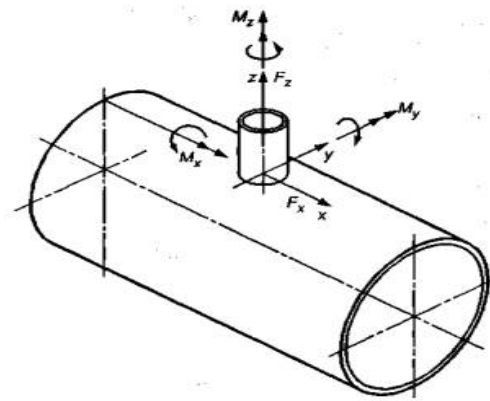
$$P_{дП} = 1.493 \times 10^6 \text{ Па}$$

.Допускаемое наружное давление:

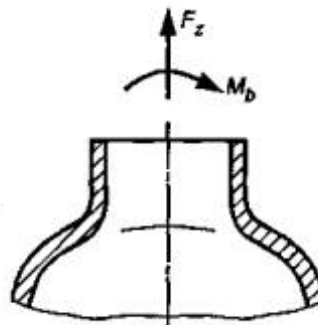
$$P_{дН} := \frac{P_{дП}}{\sqrt{1 + \left(\frac{P_{дП}}{P_{дЕ}} \right)^2}} \tag{124}$$

$$P_{дН} = 1.374 \times 10^5 \text{ Па}$$

Расчет на прочность оболочек при внешних статических нагрузках на штуцер.



а - цилиндрическая обечайка при внешних статических нагрузках на штуцер



б - сферическое днище при внешних статических нагрузках на штуцер

Рисунок 4 – Схема нагрузок на штуцер

$n = 2$ Эллиптическая оболочка

Тип := $\left\{ \begin{array}{l} \text{"цилиндрическая оболочка"} \text{ if } n = 1 \\ \text{"эллиптическая оболочка"} \text{ if } n = 2 \\ \text{"коническая оболочка"} \text{ if } n = 3 \\ \text{"сферическая оболочка"} \text{ otherwise} \end{array} \right.$

Тип = "эллиптическая оболочка"

Определение эквивалентной толщины стенки обечайки около штуцера:

$$s_3 := \begin{cases} s & \text{if } d_0 \geq d_p \\ s + s_2 \cdot \chi_3 & \text{if } \begin{cases} d_0 < d_p \\ l_3 \geq \sqrt{R_c \cdot (s + s_2)} \end{cases} \\ \left[s + \min \left[s_2 \cdot \frac{1}{\sqrt{D_c \cdot (s + s_2)}}, s_2 \right] \cdot \chi_3 \right] & \text{if } \begin{cases} d_0 < d_p \\ l_3 < \sqrt{R_c \cdot (s + s_2)} \end{cases} \end{cases}$$

$$s_3 = 6 \text{ мм}$$

Тип = "эллиптическая оболочка"

Условия применения расчетных формул:

Расчетные формулы применимы

$$\lambda_c := \frac{d_c}{\sqrt{D_c \cdot s_3}} = 0.939 \quad (125)$$

$$\lambda_{c1} := \frac{d_c}{\sqrt{R_c \cdot s_3}} = 1.328 \quad (126)$$

$$\text{Прим} := \begin{cases} \text{Прим} \leftarrow \text{"Расчетные формулы применимы"} & \text{if } \begin{cases} 0.001 \leq \frac{s}{D_c} \leq 0.1 \\ \lambda_c \leq 10 \\ n = 1 \end{cases} \\ \text{Прим} \leftarrow \text{"Расчетные формулы применимы"} & \text{if } \begin{cases} 0.001 \leq \frac{s}{R_c} \leq 0.1 \\ \lambda_{c1} \leq 10 \\ n = 2 \end{cases} \\ \text{Прим} \leftarrow \text{"Расчетные формулы применимы"} & \text{if } \begin{cases} 0.001 \leq \frac{s}{D_c} \leq 0.1 \\ \lambda_c \leq 10 \\ n = 3 \end{cases} \\ \text{Прим} \leftarrow \text{"Расчетные формулы применимы"} & \text{if } \begin{cases} 0.001 \leq \frac{s}{R_c} \leq 0.1 \\ \lambda_{c1} \leq 10 \\ n = 4 \end{cases} \\ \text{"Условия применения формул НЕ выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Тип = "эллиптическая оболочка"

Прим = "Расчетные формулы применимы "

Допустимое осевое усилие на штуцер при наличии накладного кольца:

Вспомогательные параметры:

$$a_0 := 0.60072181$$

$$a_3 := -0.001406381$$

$$a_1 := 0.95196257$$

$$a_4 := 0$$

$$a_2 := 0.0051957881$$

$$s_{э1} := s - c$$

$$\lambda_{c1} := \frac{dc}{\sqrt{Dc \cdot s_{э1}}} = 1.328 \quad (127)$$

$$C1 := a_0 + a_1 \cdot \lambda_{c1} + a_2 \cdot \lambda_{c1}^2 + a_3 \cdot \lambda_{c1}^3 + a_4 \cdot \lambda_{c1}^4 \quad (128)$$

$$C1 = 1.871$$

Для днищ:

$$K_4 := \min \left[\frac{2 \cdot \sigma_{д1} \cdot (s_1 - c)}{\sigma_{д} \cdot s_{э1}} \cdot \sqrt{\frac{s_1 - c}{dc}}, 1 \right] \quad (129)$$

$$K_4 = 0.562$$

$$\lambda_{c2} := \frac{dc}{\sqrt{Rc \cdot s_{э1}}} = 1.878 \quad (130)$$

Допускаемое осевое усилие из условия прочности в месте пересечения штуцера с обечайкой:

$$Fz1 := \begin{cases} \sigma_{д} \cdot (s + \chi_3 \cdot s_2 - c)^2 \cdot \max(C1, 1.81) & \text{if } n = 1 \\ \sigma_{д} \cdot (s + \chi_3 \cdot s_2 - c)^2 \cdot \left(1.82 + 2.4 \cdot \sqrt{1 + K_4} \cdot \lambda_{c2} + 0.91 \cdot K_4 \cdot \lambda_{c2}^2 \right) & \text{if } n = 2 \\ \sigma_{д} \cdot (s + \chi_3 \cdot s_2 - c)^2 \cdot \max(C1, 1.81) & \text{if } n = 3 \\ \sigma_{д} \cdot (s + \chi_3 \cdot s_2 - c)^2 \cdot \left(1.82 + 2.4 \cdot \sqrt{1 + K_4} \cdot \lambda_{c2} + 0.91 \cdot K_4 \cdot \lambda_{c2}^2 \right) & \text{if } n = 4 \end{cases}$$

$$Fz1 = 2.439 \times 10^{10} \text{ Н}$$

Допускаемое осевое усилие из условия прочности у внешней кромки накладного кольца при:

$$\frac{s_1}{s_9} \geq 0.5$$

$$Fz2 := \begin{cases} \sigma_D \cdot (s - c)^2 \cdot \max(C1, 1.81) & \text{if } n = 1 \\ \sigma_D \cdot (s - c)^2 \cdot \left(1.82 + 2.4 \cdot \sqrt{1 + K_4 \cdot \lambda c^2} + 0.91 \cdot K_4 \cdot \lambda c^2 \right) & \text{if } n = 2 \\ \sigma_D \cdot (s - c)^2 \cdot \max(C1, 1.81) & \text{if } n = 3 \\ \sigma_D \cdot (s - c)^2 \cdot \left(1.82 + 2.4 \cdot \sqrt{1 + K_4 \cdot \lambda c^2} + 0.91 \cdot K_4 \cdot \lambda c^2 \right) & \text{if } n = 4 \end{cases}$$

$$Fz2 = 8.781 \times 10^9 \text{ Н}$$

Допустимое осевое усилие на штуцер при наличии накладного кольца:

$$Fz := \begin{cases} \min(Fz1, Fz2) & \text{if } d_0 < d_p \\ \sigma_D \cdot (s - c)^2 \cdot \max(C1, 1.81) & \text{if } \begin{cases} d_0 \geq d_p \\ n = 1 \end{cases} \\ \sigma_D \cdot (s - c)^2 \cdot \left(1.82 + 2.4 \cdot \sqrt{1 + K_4 \cdot \lambda c^2} + 0.91 \cdot K_4 \cdot \lambda c^2 \right) & \text{if } \begin{cases} d_0 \geq d_p \\ n = 2 \end{cases} \\ \sigma_D \cdot (s - c)^2 \cdot \max(C1, 1.81) & \text{if } \begin{cases} d_0 \geq d_p \\ n = 3 \end{cases} \\ \sigma_D \cdot (s - c)^2 \cdot \left(1.82 + 2.4 \cdot \sqrt{1 + K_4 \cdot \lambda c^2} + 0.91 \cdot K_4 \cdot \lambda c^2 \right) & \text{if } \begin{cases} d_0 \geq d_p \\ n = 4 \end{cases} \end{cases}$$

Тип = "эллиптическая оболочка"

$$Fz = 8.781 \times 10^9 \text{ Н}$$

Допускаемый изгибающий момент, действующий на штуцер в плоскости перпендикулярной к оси сосуда:

$$a01 := 4.52631$$

$$a31 := -0.021419298$$

$$a_{11} := 0.064021889$$

$$a_{41} := 0.0010350407$$

$$a_{21} := 0.15887638$$

$$C2 := a_{01} + a_{11} \cdot \lambda c1 + a_{21} \cdot \lambda c1^2 + a_{31} \cdot \lambda c1^3 + a_{41} \cdot \lambda c1^4 \quad (131)$$

$$C2 = 4.845$$

Допускаемый изгибающий момент из условия прочности в месте пересечения штуцера с обечайкой: (для обечаек)

$$M_{x1} := \left[\sigma_{\text{д}} \cdot (s + \chi_3 \cdot s_2 - c)^2 \cdot \frac{dc}{4} \cdot \max(C2, \sqrt{4.9}) \right] \quad (132)$$

$$M_{x1} = 1.213 \times 10^{11} \text{ Н}\cdot\text{мм}$$

Допускаемый изгибающий момент из условия прочности у внешней кромки накладного кольца при :

$$\frac{s_1}{s_9} \geq 0.5$$

$$M_{x2} := \left[\sigma_{\text{д}} \cdot (s - c)^2 \cdot \frac{dc}{4} \cdot \max(C2, 4.9) \right] \quad (133)$$

$$M_{x2} = 4.416 \times 10^{10} \text{ Н}\cdot\text{мм}$$

Допускаемый изгибающий момент, действующий на штуцер в плоскости перпендикулярной к оси сосуда:

$$M_x := \begin{cases} \min(M_{x1}, M_{x2}) & \text{if } d_0 < d_p \\ \sigma_{\text{д}} \cdot (s - c)^2 \cdot \frac{dc}{4} \cdot \max(C2, 4.9) & \text{if } d_0 \geq d_p \end{cases}$$

$$M_x = 4.416 \times 10^{10} \text{ Н}\cdot\text{мм}$$

Допускаемый изгибающий момент, действующий на штуцер в плоскости совпадающий с осью сосуда:

$$a_{02} := 6.3178075$$

$$a_{32} := -0.83094839$$

$$a_{12} := -3.6618209$$

$$a_{42} := 0.050698494$$

$$a_{22} := 4.5145391$$

$$C3 := a_{02} + a_{12} \cdot \lambda c1 + a_{22} \cdot \lambda c1^2 + a_{32} \cdot \lambda c1^3 + a_{42} \cdot \lambda c1^4 \quad (134)$$

$$C3 = 7.627$$

Допускаемый изгибающий момент из условия прочности в месте пересечения штуцера с обечайкой:

Допускаемый изгибающий момент:

$$M_{y1} := \sigma_{\text{д}} \cdot (s + \chi_3 \cdot s_2 - c)^2 \cdot \frac{dc}{4} \cdot \max(C3, 4.9) = 1.91 \times 10^{11} \text{ Н}\cdot\text{мм} \quad (135)$$

Допускаемый изгибающий момент из условия прочности у внешней кромки накладного кольца при :

$$\frac{s_1}{s_3} \geq 0.5$$

$$M_{y2} := \sigma_{\text{д}} \cdot (s - c)^2 \cdot \frac{dc}{4} \cdot \max(C3, 4.9) = 6.874 \times 10^{10} \text{ Н}\cdot\text{мм} \quad (136)$$

Допускаемый изгибающий момент, действующий на штуцер в плоскости, совпадающий с осью сосуда:

$$M_y := \begin{cases} \sigma_{\text{д}} \cdot (s - c)^2 \cdot \frac{dc}{4} \cdot \max(C3, 4.9) & \text{if } d_0 \geq d_p \\ \min(M_{y1}, M_{y2}) & \text{if } d_0 < d_p \end{cases}$$

$$M_y = 6.874 \times 10^{10} \text{ Н}\cdot\text{мм}$$

$$M_{bH} := \sigma_{\text{д}} \cdot (s + \chi_3 \cdot s_2 - c)^2 \cdot \frac{dc}{4} \cdot \left(4.9 + 2 \cdot \sqrt{1 + K_4} \cdot \lambda c2 + 0.91 \cdot K_4 \cdot \lambda c2^2 \right) \quad (137)$$

$$M_{bH} = 2.853 \times 10^{11} \text{ Н}\cdot\text{мм}$$

С наличием кольца жесткости:

$$M_{b1} := \sigma_{\text{д}} \cdot (s + \chi_3 \cdot s_2 - c)^2 \cdot \frac{dc}{4} \cdot \left(4.9 + 2 \cdot \sqrt{1 + K_4} \cdot \lambda c2 + 0.91 \cdot K_4 \cdot \lambda c2^2 \right) \quad (138)$$

$$M_{b1} = 2.853 \times 10^{11} \text{ Н}\cdot\text{мм}$$

$$M_{b2} := \sigma_{\text{д}} \cdot (s - c)^2 \cdot \left(4.9 + 2 \cdot \sqrt{1 + K_4} \cdot \lambda c2 + 0.91 \cdot K_4 \cdot \lambda c2^2 \right) \quad (139)$$

$$M_{b2} = 1.081 \times 10^{10} \text{ Н}\cdot\text{мм}$$

$$M_b := \min(M_{b1}, M_{b2}) \quad (140)$$

$$M_b = 1.081 \times 10^{10} \text{ Н}\cdot\text{мм}$$

Совместное действие нагрузок:

Проверка выполнение условий прочности для каждой нагрузки в отдельности:

$$P_H = 1 \times 10^5 \text{ Па - наружное давление}$$

$$F_Z := 8000 \text{ - осевая сила, действующая на штуцер, Н}$$

$$M_x := 1000000 \text{ - изгибающий момент, действующий на штуцер, Н}\cdot\text{мм};$$

$$M_y := 1600000 \text{ - крутящий момент, действующий на штуцер, Н}\cdot\text{мм};$$

$$M_b := 1200000 \text{ - изгибающий момент, действующий на штуцер, Н}\cdot\text{мм};$$

$$\Phi_r := \left| \frac{P_H}{P_{дП}} \right| \quad (141)$$

$$\Phi_z := \left| \frac{F_Z}{F_z} \right| \quad (142)$$

$$\Phi_b := \begin{cases} \sqrt{\left(\frac{M_x}{M_x}\right)^2 + \left(\frac{M_y}{M_y}\right)^2} & \text{if } n = 1 \\ \sqrt{\left(\frac{M_b}{M_b}\right)^2} & \text{if } n = 2 \\ \sqrt{\left(\frac{M_x}{M_x}\right)^2 + \left(\frac{M_y}{M_y}\right)^2} & \text{if } n = 3 \\ \sqrt{\left(\frac{M_b}{M_b}\right)^2} & \text{if } n = 4 \end{cases}$$

Тип = "эллиптическая оболочка"

$$\text{Усл1} := \begin{cases} \text{"Условия выполняются"} & \text{if } \begin{cases} \Phi_r \leq 1 \\ \Phi_z \leq 1 \\ \Phi_b \leq 1 \end{cases} \\ \text{"Условия не выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Усл1 = "Условия выполняются"

Проверка выполнение условий прочности при совместном действии нагрузок:

$У_{сл2} = 1$ Нагрузка с учетом стесненности температурных деформаций

$$C4 := \begin{cases} 1.1 & \text{if } У_{сл2} = 1 \\ 1 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$C4 = 1.1$$

$У_{сл3} = 1$ Осевая нагрузка направлена наружу от стенки

$$\Phi_{z1} := \begin{cases} \Phi_z & \text{if } У_{сл3} = 1 \\ \Phi_z \cdot -1 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\Phi_{z1} = 9.111 \times 10^{-7}$$

$$У_{сл4} := \begin{cases} \text{"Условия выполняются"} & \text{if } n = 1 \\ & \sqrt{\left(\max\left(\left| \frac{\Phi_p}{C4} + \Phi_{z1} \right|, |\Phi_{z1}|, \frac{\Phi_p}{C4} - 0.2 \cdot \Phi_{z1} \right) \right)^2 + \Phi_b^2} \\ \text{"Условия выполняются"} & \text{if } n = 2 \\ & \max(|\Phi_p + \Phi_z|, |\Phi_z|, |\Phi_p - 0.2 \cdot \Phi_z|, |\Phi_b|) \\ \text{"Условия выполняются"} & \text{if } n = 3 \\ & \sqrt{\left(\max\left(\left| \frac{\Phi_p}{C4} + \Phi_{z1} \right|, |\Phi_{z1}|, \frac{\Phi_p}{C4} - 0.2 \cdot \Phi_{z1} \right) \right)^2 + \Phi_b^2} \\ \text{"Условия выполняются"} & \text{if } n = 4 \\ & \max(|\Phi_p + \Phi_z|, |\Phi_z|, |\Phi_p - 0.2 \cdot \Phi_z|, |\Phi_b|) \\ \text{"Условия не выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$У_{сл4} = \text{"Условия выполняются"}$

Проверка прочности штуцера:

Осевая сила, действующая на штуцер, создает растягивающее напряжение

$$F_z := \begin{cases} 0 & \text{if } У_{сл5} = 1 \\ F_z & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$F_z = 8.781 \times 10^9 \text{ Н}$$

| | | | | |
|---------|--|-----------|-------|---|
| Услб := | "Условия применения формул выполняются" | if | n = 1 | $\frac{P_H \cdot (d + s_1)}{4 \cdot (s_1 - c)} + \frac{4 \cdot \sqrt{M_x^2 + M_y^2}}{\pi \cdot (d + s_1)^2 \cdot (s_1 - c)} + \frac{F_z}{\pi \cdot (d + s_1) \cdot (s_1 - c)} \leq \sigma_{д1}$ |
| | "Условия применения формул выполняются" | if | n = 2 | $\frac{P_H \cdot (d + s_1)}{4 \cdot (s_1 - c)} + \frac{4 \cdot M_b}{\pi \cdot (d + s_1)^2 \cdot (s_1 - c)} + \frac{F_z}{\pi \cdot (d + s_1) \cdot (s_1 - c)} \leq \sigma_{д1}$ |
| | "Условия применения формул выполняются" | if | n = 3 | $\frac{P_H \cdot (d + s_1)}{4 \cdot (s_1 - c)} + \frac{4 \cdot \sqrt{M_x^2 + M_y^2}}{\pi \cdot (d + s_1)^2 \cdot (s_1 - c)} + \frac{F_z}{\pi \cdot (d + s_1) \cdot (s_1 - c)} \leq \sigma_{д1}$ |
| | "Условия применения формул выполняются" | if | n = 4 | $\frac{P_H \cdot (d + s_1)}{4 \cdot (s_1 - c)} + \frac{4 \cdot M_b}{\pi \cdot (d + s_1)^2 \cdot (s_1 - c)} + \frac{F_z}{\pi \cdot (d + s_1) \cdot (s_1 - c)} \leq \sigma_{д1}$ |
| | "Условия применения формул НЕ выполняются" | otherwise | | |

Услб = "Условия применения формул выполняются"

Расчет на устойчивость:

Допускаемое осевое сжимающее усилие из условия прочности вычисляют по формуле:

$$F_{п} := \pi \cdot (D + s - c) \cdot (s - c) \cdot \sigma_{д} \quad (143)$$

Допускаемое осевое сжимающее усилие из условия местной устойчивости вычисляют по формуле:

$$n_{\text{уст}} := 2.4$$

$$F_{e1} := \frac{310 \cdot 10^{-6} \cdot E_1}{n_y} \cdot D^2 \cdot \left[\frac{100 \cdot (s - c)}{D} \right]^{2.5} \quad (144)$$

$$F_{e1} = 2.328 \times 10^{12} \text{ Н}$$

Допускаемое осевое сжимающее усилие:

$$F_{\text{доп}} := \frac{F_{\Pi}}{\sqrt{1 + \left(\frac{F_{\Pi}}{F_{e1}}\right)^2}} \quad (145)$$

$$F_{\text{доп}} = 2.723 \times 10^{11} \text{ Н}$$

Расчет допускаемого изгибающего момента:

Допускаемый изгибающий момент из условия прочности вычисляют по формуле:

$$M_{\Pi} := \frac{\pi}{4} \cdot D \cdot (D + s - c) \cdot (s - c) \cdot \sigma_{\text{д}} \quad (146)$$

$$M_{\Pi} = 1.871 \times 10^{13} \text{ Н}\cdot\text{мм}$$

Допускаемый изгибающий момент из условия местной устойчивости:

$$M_{e} := \frac{89 \cdot 10^{-6} \cdot E_1}{n_y} \cdot D^3 \cdot \left[\frac{100 \cdot (s - c)}{D} \right]^{2.5} \quad (147)$$

$$M_e = 1.824 \times 10^{14} \text{ Н}\cdot\text{мм}$$

Допускаемый изгибающий момент:

$$M_{\text{доп}} := \frac{M_{\Pi}}{\sqrt{1 + \left(\frac{M_{\Pi}}{M_e}\right)^2}} \quad (148)$$

$$M_{\text{доп}} = 1.862 \times 10^{13} \text{ Н}\cdot\text{мм}$$

Вид условий:

Усл7 = 2 Если Fz сжимающее усилие

$$F_Z := \begin{cases} 0 & \text{if } \text{Усл7} = 1 \\ F_Z & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$P_H := \begin{cases} 0 & \text{if } \text{Усл7} = 1 \\ P_H & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$F_Z = 8 \times 10^3 \text{ Н}$$

$$P_H = 1 \times 10^5 \text{ Па}$$

$$\begin{array}{l}
 \text{Усл8} := \left[\begin{array}{l}
 \text{"Условия применения формул выполняются"} \text{ if } n = 1 \\
 \frac{P_n}{P_{\text{дП}}} + \frac{Fz}{F_{\text{доп}}} + \frac{\sqrt{M_x^2 + M_y^2}}{M_{\text{доп}}} \leq 1 \\
 \\
 \text{"Условия применения формул выполняются"} \text{ if } n = 1 \\
 \frac{Fz}{F_{\text{доп}}} + \frac{Mb}{M_{\text{доп}}} \leq 1 \\
 \\
 \text{"Условия применения формул выполняются"} \text{ if } n = 1 \\
 \frac{P_n}{P_{\text{дП}}} + \frac{Fz}{F_{\text{доп}}} + \frac{\sqrt{M_x^2 + M_y^2}}{M_{\text{доп}}} \leq 1 \\
 \\
 \text{"Условия применения формул выполняются"} \text{ if } n = 1 \\
 \frac{Fz}{F_{\text{доп}}} + \frac{Mb}{M_{\text{доп}}} \leq 1 \\
 \\
 \text{"Условия применения формул НЕ выполняются"} \text{ otherwise}
 \end{array} \right.
 \end{array}$$

Усл8 = "Условия применения формул выполняются"

3.6 Механический расчет теплообменника

В данном разделе произведем расчет на проверку выполнения критериев надежности, исходя из нагрузок на рассчитываемый аппарат. Для отдельных узлов теплообменного аппарата критерии надежности будут следующие:

- Прочность
- Жесткость (устойчивость)

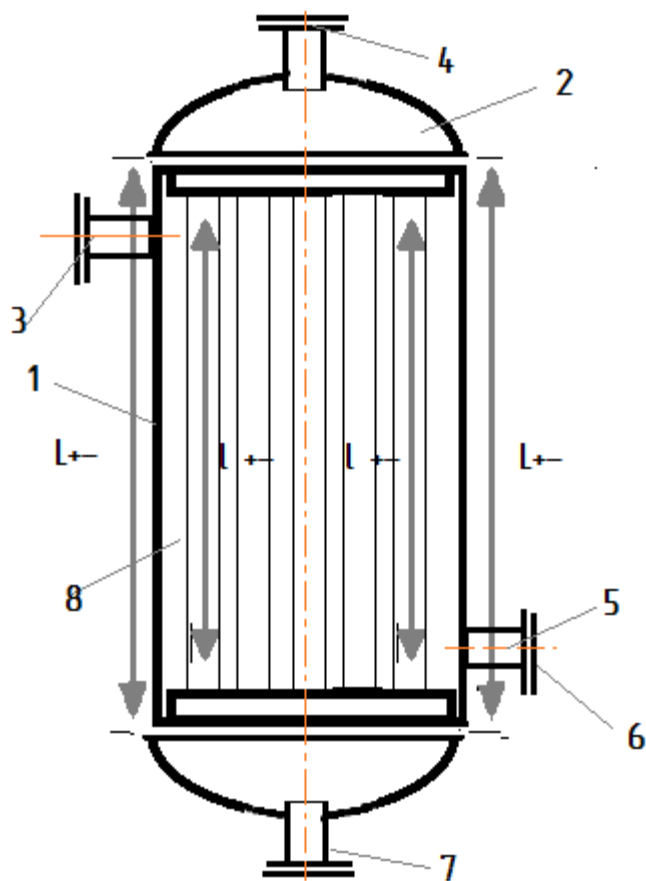


Рисунок 5. Расчетная схема действия температурных напряжений.

1 – корпус теплообменника; 2 – Эллиптическая крышка (днище); 3 – входной патрубок межтрубного пространства; 4 – входной патрубок трубного пространства; 5 – выходной патрубок межтрубного пространства; 6 – фланцевая пара; 7 – выходной патрубок трубного пространства; 8 – трубной пучок в соединении с трубными решетками;

3.6.1 Определение температурных деформаций

В данном разделе произведем расчет температурных расширений корпуса аппарата (см. рисунок 5, поз.№1), а также трубного пучка (см. рисунок 5, поз.№8). Цель расчета состоит в том, чтобы определить тип конструкции теплообменника. При удлинении элементов аппарата выше допустимого требуется изготовление сосуда с наличием компенсатора либо плавающей головки.

Определение температурных деформаций [7].

$\sigma_{t1к} = 105.41 \text{ МПа}$, допускаемое напряжение материала корпуса

$\sigma_{\text{труб}} := 110 \text{ МПа}$, допускаемое напряжение для материала трубок

$L_{\text{труб}} := L = 80 \text{ мм}$, длина труб в межтрубном пространстве

$$t_t := \frac{(77 + 74)}{2} \quad (149)$$

$t_t = 75.5 \text{ }^\circ\text{C}$, температура стенки труб

$t_k := 62 \text{ }^\circ\text{C}$, температура стенки корпуса

$E_t := 1.52 \cdot 10^5 \text{ МПа}$, модуль продольной упругости материала трубок[14].

$$x := (50 \quad 100)^T$$

$$y := (1.52 \cdot 10^5 \quad 1.43 \cdot 10^5)^T$$

$E_k := \text{linterp}(x, y, t_k) = 1.498 \times 10^5 \text{ МПа}$, модуль продольной упругости материала корпуса. (150)

$\alpha_t := 18 \cdot 10^{-6} \text{ К}^{-1}$, коэффициент линейного расширения для материала трубок.

$\alpha_k := 14.85 \cdot 10^{-6} \text{ К}^{-1}$, коэффициент линейного расширения для материала трубок.

$F_t := 0.8704 \text{ м}^2$, площадь поперечного сечения всех труб.

$$F_k := \pi \left(\frac{D}{2 \cdot 1000} - \frac{s}{1000} \right)^2 = 0.055 \text{ м}^2, \text{ площадь поперечного сечения корпуса.} \quad (151)$$

Найдем температурное усилие в конструкции:

$$Q_t := \frac{(\alpha_t \cdot t_t - \alpha_k \cdot t_k) \cdot E_t \cdot F_t \cdot E_k \cdot F_k}{E_t \cdot F_t + E_k \cdot F_k} = 3.409 \text{ МН} \quad (152)$$

Далее определим температурные напряжения в трубах и корпусе:

$$\sigma_t := \frac{Q_t}{F_t} = 3.917 \text{ МПа} \quad (153)$$

$$\sigma_k := \frac{Q_t}{F_k} = 61.814 \text{ МПа} \quad (154)$$

Удлинение материала:

$$\delta_t := \frac{Q_t \cdot L}{1000 E_t \cdot F_t} = 2.062 \times 10^{-6} \text{ м} \quad (155)$$

$$\delta_k := \frac{(Q_t \cdot L)}{(1000 E_k \cdot F_k)} = 3.3 \times 10^{-5} \text{ м} \quad (156)$$

$$\delta_{\text{ww}} := 1000(\delta_t + \delta_k) = 0.035 \text{ мм} \quad (157)$$

$$\sigma_{t1k} = 105.41 \text{ МПа}$$

$$U_{s1} := \begin{cases} \text{"Условие прочности выполняется"} & \text{if } \sigma_k \leq \sigma_{t1k} \\ \text{"Условия прочности НЕ выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$U_{s1} = \text{"Условие прочности выполняется"}$$

$$U_{s1} := \begin{cases} \text{"Условие прочности выполняется"} & \text{if } \sigma_t \leq \sigma_{t1k} \\ \text{"Условия прочности НЕ выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$U_{s1} = \text{"Условие прочности выполняется"}$$

Вывод: По результатам расчетов следует, что удлинение материала трубного пучка и обечайки корпуса будут незначительными (0,035 мм),

вследствие чего, компенсация удлинения не требуется. Температурные напряжения в трубках (3,917 МПа) и корпусе (61,814 МПа) меньше допускаемого напряжения материала (105,41 МПа). Все условия прочности выполняются.

3.6.2 Расчет толщины трубной решетки

В данном разделе произведем расчет требуемой и исполнительной толщины трубной решетки (см. рисунок 5, поз.№8). Цель расчета заключается в том, чтобы определить минимальную толщину трубной решетки при рабочих нагрузках.

Расчет трубной решетки будем производить по методике главы 25[17].

$$N_{\text{общ}} := n = 2$$

$$F := S = 8.042 \times 10^{-4} \text{ м}^2$$

$$L_t := \frac{L}{1000} = 0.08 \text{ м} \quad (158)$$

$$D_t := \frac{D}{1000} = 0.273 \text{ м} \quad (159)$$

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

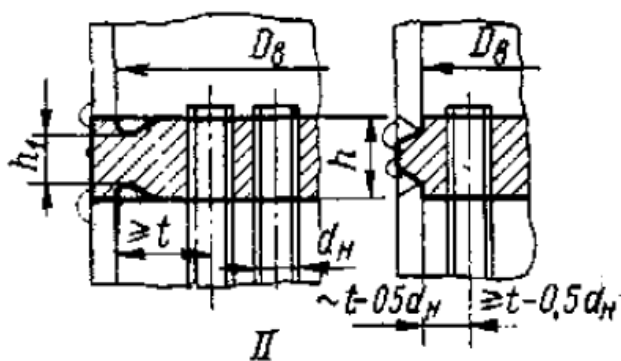


Рисунок 6 – Тип трубной решетки

$$z_d := 10, \text{ число труб на диаметре}$$

$$c := 0.001 \text{ м, прибавка на коррозию}$$

Материал трубной решетки 30ХГТ. Допускаемое напряжение при изгибе при статической нагрузке:

$$\sigma_{\text{ид}} := 140 \text{ МПа}$$

Определяем номинальную расчетную высоту решетки снаружи, подобрав значения из табл.25.3 [17]:

$$K := 0.28 \text{ м}$$

$$D_B := D_t = 0.273 \text{ м} \quad (160)$$

$$p := 0.02 \text{ МПа}$$

$$h_{1p} := K \cdot D_B \cdot \sqrt{\frac{p}{\sigma_{ид}}} = 9.136 \times 10^{-4} \text{ м} \quad (161)$$

Определяем коэффициент ослабления решетки:

$$\phi_0 := \frac{D_B - z_d \cdot 0.02}{D_B} = 0.267$$

Определяем номинальную расчетную высоту решетки посередине, выбрав значения величин из табл.25.3[17].

$$K := 0.67$$

$$D_B := D_t = 0.273 \text{ м}$$

$$p := 0.1 \text{ МПа}$$

$$h_p := K \cdot D_B \cdot \sqrt{\frac{p}{\phi_0 \cdot \sigma_{ид}}} = 9.454 \times 10^{-3} \text{ м} \quad (162)$$

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

$$h_{сн} := 1.4 \cdot h_{1p} + c = 2.279 \times 10^{-3} \text{ м} \quad (163)$$

$$h_{сер} := 1.4 \cdot h_p + c = 0.014 \text{ м} \quad (164)$$

Вследствие того, что трубы к трубной решетке крепятся развальцовкой, то увеличиваем высоту трубной решетки до 25 мм.

Вывод: в результате расчета пришли к выводу о том, что минимальная толщина трубной решетки составит 14 мм, но вследствие того, что трубный пучок будет крепиться к ней развальцовкой, то толщина была увеличена до 25 мм.

3.6.3 Расчет развальцовочного соединения

В данном разделе произведем расчет на прочность развальцовочного соединения (см. рисунок 5, поз.№8). Целью данного расчета является выполнение прочностного расчета на вырывание труб из трубной решетки.

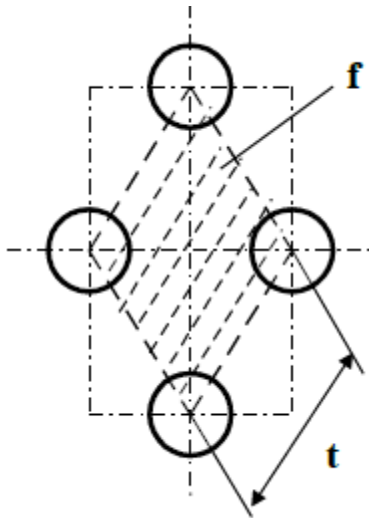


Рисунок 6 – Расположение труб в трубной решетке

При расположении труб по вершинам правильных треугольников [7]:

$$f_p = 0.866 \cdot t^2 - \frac{\pi \cdot d_H^2}{4} \quad (165)$$

Шаг определяется:

$$t := 1.2 \cdot d_H \cdot 1000 + 2 = 26 \text{ мм} [13] \quad (166)$$

$$f_p := 0.866 \cdot \left(\frac{t}{1000} \right)^2 - \frac{\pi \cdot d_H^2}{4} = 2.713 \times 10^{-4} \text{ м}^2 \quad (167)$$

Так как трубы нагреты больше, чем корпус, то в них возникают сжимающие напряжения, и они подвергаются продольному изгибу, поэтому развальцовка работает на вырывание труб из решетки.

Определим площадь поперечного сечения стенки трубы:

$$f_t := \frac{\pi}{4} \cdot (d_H^2 - d_B^2) = 1.131 \times 10^{-4} \text{ м}^2 \quad (168)$$

$\sigma_t = 3.917 \text{ МПа}$, температурное напряжение в трубках

$p_{Г.П.} := 0.1 \text{ МПа}$, давление в межтрубном пространстве

$P_{\text{с.м.}}$:= 0.1 МПа, давление в трубном пространстве

Температурное усилие, приходящееся на одну трубу:

$$q_t := \sigma_t \cdot f_t = 4.43 \times 10^{-4} \text{ МПа} \quad (169)$$

Определение осевого усилия:

$$D_{\text{вн.}} := \frac{(D - 2s)}{1000} = 0.265 \text{ м} \quad (170)$$

$$Q_k := p_{\text{г.п.}} \cdot \frac{3.14}{4} \cdot (D_{\text{вн.}}^2 - n \cdot d_{\text{н.}}^2) + P_{\text{с.м.}} \cdot n \cdot \frac{3.14}{4} \cdot d_{\text{в.}}^2 = 5.49 \times 10^{-3} \text{ МН} \quad (171)$$

Усилие, действующее на 1 трубку от давления:

$$q := \frac{Q_k}{n} = 2.745 \times 10^{-3} \text{ МН} \quad (172)$$

Суммарное усилие:

$$q_c := |q - q_t| = 2.302 \times 10^{-3} \text{ МН} \quad (173)$$

Удельная нагрузка от давления на единицу длины окружности развальцовки:

$$\sigma_0 := \frac{q}{\pi \cdot d_{\text{н.}}} = 0.044 \frac{\text{МН}}{\text{м}} \quad (174)$$

$$\sigma_{0\text{Д}} := 0.07 \frac{\text{МН}}{\text{м}}$$

Условие выполнения прочности развальцовки удельной нагрузки от давления:

$$Us1 := \begin{cases} \text{"Условие прочности выполняется"} & \text{if } \sigma_0 \leq \sigma_{0\text{Д}} \\ \text{"Условия прочности НЕ выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$Us1 = \text{"Условие прочности выполняется"}$$

Вывод: в результате расчета вычислили удельную нагрузку от давления на единицу длины окружности развальцовки (0,044 МН/м). Данная величина по условия прочности меньше допускаемой нагрузки (0,07 МН/м), следовательно, условие прочности выполняется.

3.6.4 Расчет фланцевого соединения

В данном разделе произведем механический расчет фланцевого соединения (см. рисунок 5 поз.№6), который сводится к определению следующих критериев надежности: обеспечению герметичности, обеспечению прочности втулки фланца, обеспечению прочности болтов, что и является целью данного расчета.

В качестве примера произведем расчет фланца для патрубка выхода конденсата:

Диаметр штуцера:

$$d_p := D_k = 0.032 \text{ м}$$

Допускаемое напряжение для материала болтов 12X18H10T:

$$\sigma_b := 110 \text{ МПа}$$

Диаметр болтов фланцевого соединения:

$$d_b := 0.01 \text{ м}$$

Модуль упругости фланца:

$$E := 2 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

нормативный зазор между втулкой и гайкой в соответствии с рекомендациями:

$$u := 0.005$$

Решение:

Толщина втулки плоских приварных фланцев:

$$c := 0.001 \text{ м}$$

$$s_0 \geq s$$

Примем

$$s_0 := 0.003 \text{ м}$$

Высота втулки:

$$h_b := 0.5 \cdot \sqrt{d_p \cdot (s_0 - c)} = 4 \times 10^{-3} \quad (175)$$

Примем значение высоты втулки:

$$h_b := 0.05 \text{ м}$$

Диаметр болтовой окружности плоских приварных фланцев:

$$D_b := d_p + 2(2 \cdot s_0 + d_b + u) = 0.074 \text{ м} \quad (176)$$

Примем:

$$D_b := 0.075 \text{ м}$$

Наружный диаметр фланца:

Конструктивную добавку для размещения шестигранных гаек (обычных) по диаметру фланца примем по табл.1.41 [18]:

$$a := 0.025 \text{ м}$$

Диаметр отверстия под болт:

$$d := 0.014 \text{ м}$$

Наружный диаметр фланца:

$$D_n := D_b + a = 0.1 \text{ м} \quad (177)$$

Примем

$$D_n := 0.10 \text{ м}$$

Наружный диаметр прокладки при нормативном параметре, зависящем от типа прокладки:

$$e := 0.02 \text{ м, так как выбираем плоскую прокладку по табл. 1.41 [18].}$$

$$D_{np} := D_b - e = 0.055 \text{ м} \quad (178)$$

Средний диаметр прокладки:

ширина прокладки плоской, неметаллической по табл.1.42 [18].

$$b := 0.012 \text{ м}$$

$$D_{sn} := D_{np} - b = 0.043 \text{ м} \quad (179)$$

Количество болтов, необходимое для обеспечения герметичности соединения:

Шаг расположения болтов

$$t_{sh} := 4 \cdot d_b = 0.04 \text{ м} \quad (180)$$

$$n_b := \frac{\pi \cdot D_b}{t_{sh}} = 5.89 \quad (181)$$

Применяем

$$n_b := 8 \text{ шт}$$

Высота(толщина) фланца ориентировочно:

По рисунку 1.40 [18] определяем коэффициент:

$$\lambda_f := 0.21$$

Эквивалентная толщина втулки:

$$\frac{d_p}{s_0} = 10.667 \quad (182)$$

$$\beta_1 := 1.5$$

по рисунку 1.39 [18]

$$s_{ek} := s_0 \cdot \left[1 + \frac{h_b \cdot (\beta_1 - 1)}{h_b + 0.25 \cdot (\beta_1 + 1) \cdot \sqrt{d_p \cdot s_0}} \right] = 4.336 \times 10^{-3} \text{ м} \quad (183)$$

$$h_f \geq \lambda_f \cdot \sqrt{d_p \cdot s_{ek}}$$

$$\lambda_f \cdot \sqrt{d_p \cdot s_{ek}} = 2.474 \times 10^{-3} \quad (184)$$

Примем

$$h_f := 0.01 \text{ м}$$

Болтовая нагрузка, необходимая для обеспечения герметичности.

Расчет сводится к определению нагрузок для двух различных состояний: при монтаже и в рабочих условиях.

Болтовая нагрузка в условиях монтажа.

Равнодействующая внутреннего давления

$$F_d := P_{cm} \cdot \pi \cdot \frac{D_{sn}^2}{4} = 1.452 \times 10^{-4} \text{ МН} \quad (185)$$

Выберем прокладку из паронита толщиной 1 мм, для нее:

$$k_{pr} := 2.5$$

Толщина прокладки:

$$h_{pr} := 0.001 \text{ м}$$

$$p_{pr} := 20 \text{ МПа}$$

Минимальное давление обжатия:

Допускаемое давление обжатия прокладки:

$$p_{dpr} := 130 \text{ МПа}$$

Модуль упругости фторопласта:

$$E_{pr} := 2000 \text{ МПа}$$

Эффективная ширина прокладки:

$$b_0 := b = 0.012 \text{ м}$$

Реакция прокладки:

$$R_p := \pi \cdot D_{sn} \cdot b_0 \cdot k_{pr} \cdot P_{cm} = 4.053 \times 10^{-4} \text{ МН} \quad (186)$$

Расчетная площадь поперечного сечения болта принимается:

$$f_b := 1.35 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$$

Линейная податливость прокладки, при:

$$k_p := 1 \frac{\text{М}}{\text{МН}}$$

$$y_p := \frac{k_p \cdot h_{pr}}{E_{pr} \cdot \pi \cdot D_{sn} \cdot b} = 3.084 \times 10^{-4} \quad (187)$$

Угловая податливость фланца:

$$E := 2.15 \cdot 10^5 \text{ МПа, модуль продольной упругости материала фланца}$$

безразмерные параметры

$$\lambda_{fk} := \frac{h_f}{\sqrt{d_p \cdot s_{ek}}} = 0.849 \quad (188)$$

$$\psi_1 := 1.28 \cdot \log\left(\frac{D_n}{d_p}\right) = 0.633 \quad (189)$$

$$\psi_2 := \frac{D_n + d_p}{D_n - d_p} = 1.941 \quad (190)$$

$$v := \frac{1}{1 + 0.9 \cdot \lambda_f \cdot \left(1 + \psi_1 \cdot \frac{h_f^2}{s_{ek}^2} \right)} = 0.231 \quad (191)$$

$$y_f := \frac{\left[1 - v \cdot (1 + 0.9 \cdot \lambda_f) \right] \cdot \psi_2}{h_f^3 \cdot E} = 5.357 \frac{\text{м}}{\text{МН}} \quad (192)$$

Расстояние между опорными поверхностями головки болта и гайки:

примем конструктивно

$$l_{ob} := 0.042 \text{ м}$$

Расчетная длина болта:

$$l_b := l_{ob} + 0.28 \cdot d = 0.046 \text{ м} \quad (193)$$

Линейная податливость болтов:

$$y_b := \frac{l_b}{E \cdot f_b \cdot n_b} = 1.978 \times 10^{-4} \frac{\text{м}}{\text{МН}} \quad (194)$$

Коэффициент жесткости фланцевого соединения:

$$k_{zh} := \frac{y_b + 0.5 \cdot y_f \cdot (D_b - d_p - s_{ek}) \cdot (D_b - D_{sn})}{y_p + y_b + 0.5 \cdot y_f \cdot (D_b - D_{sn})^2} = 1.081 \quad (195)$$

Болтовая нагрузка в условиях монтажа:

$$\sigma_{b20} := 130 \text{ МПа}$$

Осевое растягивающее усилие:

$$F_1 := 0.25 \cdot \pi \cdot \left(d_p + 2 \cdot s \cdot 10^{-6} \right) \cdot P_{cm} = 2.514 \times 10^{-3} \text{ МН} \quad (196)$$

$$F_{b1} := \max \left[\begin{array}{l} k_{zh} \cdot (F_d - F_1) + R_p \\ 0.5 \cdot \pi \cdot D_{sn} \cdot b_0 \cdot p_{pr} \\ 0.4 \cdot \sigma_{b20} \cdot n_b \cdot f_b \end{array} \right] = 0.056 \text{ МН} \quad (197)$$

Болтовая нагрузка в рабочих условиях

Коэффициент линейного расширения материала болтов и фланцев 12X18H10T:

$$\alpha := 16.6 \cdot 10^{-6} \frac{1}{\text{C}^0}$$

$$t_r := 80 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Усилие, возникающее от температурных деформаций:

$$F_{t_r} := \frac{y_b \cdot n_b \cdot f_b \cdot E \cdot (\alpha \cdot t_r - \alpha \cdot 0.97 \cdot t_r)}{y_p + y_b + 0.5 \cdot y_f \cdot (D_b - D_{sn})^2} = 5.631 \times 10^{-4} \text{ МН} \quad (198)$$

$$F_{b2} := F_{b1} + (1 - k_{zh}) \cdot (F_d - F_1) + F_t = 0.057 \text{ МН} \quad (199)$$

Условия прочности болтов

$$\frac{F_{b1}}{n_b \cdot f_b} = 52 \text{ МПа} \quad (200)$$

$$Us_1 := \begin{cases} \text{"Условие прочности выполняется"} & \text{if } \frac{F_{b1}}{n_b \cdot f_b} \leq \sigma_{b20} \\ \text{"Условия прочности НЕ выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\sigma_{b20} = 130 \text{ МПа}$$

$$Us_1 = \text{"Условие прочности выполняется"}$$

$$Us_2 := \begin{cases} \text{"Условие прочности выполняется"} & \text{if } \frac{F_{b2}}{n_b \cdot f_b} \leq \sigma_b \\ \text{"Условия прочности НЕ выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\frac{F_{b2}}{n_b \cdot f_b} = 52.699 \text{ МПа} \quad (201)$$

$$\sigma_b = 110 \text{ МПа}$$

$$Us_2 = \text{"Условие прочности выполняется"}$$

Условие прочности неметаллических прокладок:

$$\frac{F_{b1}}{\pi \cdot D_{sn} \cdot b} = 34.644 \text{ МПа} \quad (202)$$

$$Us_b := \begin{cases} \text{"Условие прочности выполняется"} & \text{if } \frac{F_{b1}}{\pi \cdot D_{sn} \cdot b} \leq p_{dpr} \\ \text{"Условия прочности НЕ выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$p_{dpr} = 130 \text{ МПа}$$

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

Условие прочности втулки фланца для сечения, ограниченного размером S0:

безразмерный параметр

$$T_f := \frac{D_n^2 \cdot \left(1 + 8.55 \cdot \log \left(\frac{D_n}{d_p} \right) \right) - d_p^2}{\left(1.05 \cdot d_p^2 + 1.945 \cdot D_n^2 \right) \cdot \left(\frac{D_n}{d_p} - 1 \right)} = 1.176 \quad (203)$$

Безразмерный параметр по рисунку 1.42 [10].

$$\lambda_{1.42} := \frac{h_b}{\sqrt{d_p \cdot s_0}} = 5.103 \quad (204)$$

$$f_f := 1$$

Приведенный изгибающий момент: (206)

$$M_0 := \max \left[0.1 \cdot (D_b - D_{sn}) \cdot F_{b1}, 0.1 \cdot \left[(D_b - D_{sn}) \cdot F_{b2} + (D_{sn} - d_p - s_{ek}) \cdot F_d \right] \right] = 1.822 \times 10^{-4}$$

$$\sigma_1 := T_f \cdot M_0 \cdot \frac{v}{d_p \cdot \left(\frac{s}{1000} - c \right)^2} = 171.517 \text{ МПа} \quad (207)$$

Максимальное напряжение в сечении, ограниченном размером S0:

$$\sigma_{0.1} := f_f \cdot \sigma_1 = 171.517 \text{ МПа} \quad (208)$$

Тангенциальное и меридиональное напряжения во втулке фланца от внутреннего давления:

$$\sigma_{t.1} := \frac{p_{pr} \cdot d_p}{2 \cdot (s_0 - c)} = 160 \text{ МПа} \quad (209)$$

$$\sigma_m := \frac{p_{pr} \cdot d_p}{4 \cdot (s_0 - c)} = 80 \text{ МПа} \quad (210)$$

Допускаемое напряжение для фланца в сечении S_0 , принимаемое при количестве нагружений соединения (сборка-разборка) при $P_p < 4 \text{ МПа}$:

$$\sigma_{d0} := 0.003 \cdot E = 600 \text{ МПа} \quad (211)$$

Тогда условие прочности втулки фланца:

$$Us_4 := \begin{cases} \text{"Условие прочности выполняется"} & \text{if } \sqrt{(\sigma_0 + \sigma_m)^2 + \sigma_t^2} - (\sigma_0 + \sigma_m) \cdot \sigma_t < \phi \cdot \sigma_{d0} \\ \text{"Условия прочности НЕ выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$Us_4 = \text{"Условие прочности выполняется"}$$

$$\sqrt{(\sigma_0 + \sigma_m)^2 + \sigma_t^2} - (\sigma_0 + \sigma_m) \cdot \sigma_t = 220.495 \quad (212)$$

Условие герметичности фланцевого соединения определяется углом поворота фланца. Максимальное напряжение в кольце аппарата:

$$\sigma_k := M_0 \cdot [1 - \nu \cdot (1 + 0.9 \cdot \lambda_f)] \cdot \frac{\psi_2}{d_p \cdot h_f^2} = 65.586 \text{ МПа} \quad (213)$$

Допускаемый угол поворота фланца для плоских приварных:

$$\Theta_d := 0.013$$

$$\Theta := \left(\frac{\sigma_k}{E} \right) \cdot \left(\frac{d_p}{h_f} \right) = 1.049 \times 10^{-3} \quad (214)$$

$$Us_5 := \begin{cases} \text{"Условие герметичности выполняется"} & \text{if } \Theta < \Theta_d \\ \text{"Условия прочности НЕ выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$Us_5 = \text{"Условие герметичности выполняется"}$$

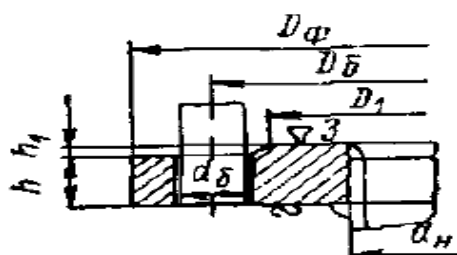
Вывод: таким образом, подобранный фланец отвечает всем требованиям прочности. Условия прочности болтов выполняются как в условиях монтажа (действующее напряжение меньше допустимого: $52 \text{ МПа} < 130 \text{ МПа}$), так и в рабочих условиях (действующее напряжение меньше допустимого: $52,7 \text{ МПа} < 130 \text{ МПа}$). Также условие прочности болтов выполняется и для неметаллических прокладок (действующее напряжение

меньше допустимого: $36,6 \text{ МПа} < 130 \text{ МПа}$). Было выполнено условие прочности втулки фланца (действующая нагрузка меньше допустимой: $220,5 \text{ МПа} < 600 \text{ МПа}$). Также фланцевое соединение было посчитано на герметичность, которая определялась углом поворота фланца (угол поворота фланца в рабочих условиях меньше допустимого угла поворота фланца $0,001049 \text{ рад} < 0,013 \text{ рад}$). Подобным образом рассчитываются все фланцевые соединения.

Подберем фланцы для патрубков газа и конденсата:

Подбираем фланцы к штуцерам из стали по табл.21.9 [17].

Фланцы на патрубки для подтоварной воды, 1 исполнение при давлении 1 МПа:



Тип 1

Рисунок 7 – Тип фланца

$$D_{\text{н.к}} := 0.065_{\text{м}}$$

$$D_{\text{ф.к}} := 0.160_{\text{м}}$$

$$D_{\text{б.к}} := 0.130_{\text{м}}$$

$$D_{\text{1.к}} := 0.110_{\text{м}}$$

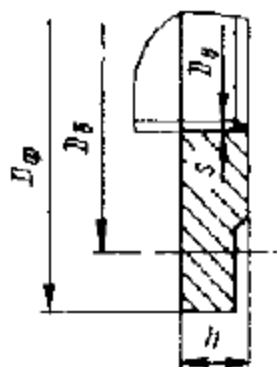
$$d_{\text{б}} - \text{M12}$$

$$n_{\text{к}} := 4_{\text{шт}}$$

$$m_{\text{ф.к}} := 1.63_{\text{кг}}$$

$$h_{\text{г.к}} := 0.013_{\text{м}}$$

Подбираем фланцы к патрубкам воды табл.21.12, тип 1.[17]:



Тун 1

Рисунок 8 – Тип фланца

$$D_{\phi} := 0.1_{\text{м}}$$

$$D_{\text{б}} := 0.75_{\text{м}}$$

$$D_1 := 0.06_{\text{м}}$$

$$d_{\text{б}} - \text{M10}$$

$$n := 4_{\text{шт}}$$

$$m_{\phi.} := 0.055_{\text{кг}}$$

$$h_{\Gamma} := 0.01_{\text{м}}$$

3.7 Определение толщины тепловой изоляции

Толщину тепловой изоляции находят из равенства удельных тепловых потоков через слой изоляции от поверхности изоляции в окружающую среду[12].

$t_{ct2} := 40$ °С-температура изоляции со стороны окружающей среды, для аппаратов, работающих в помещении выбирают в интервале 35-45 градусов

$t_{ct1} := 62 = 62$ °С - температура изоляции со стороны аппарата.

$t_B := 20$ °С - температура окружающей среды

$\lambda_H := 0.098 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}}$ - коэффициент теплопроводности теплоизоляционного

материала, в качестве материала для тепловой изоляции выберем совелит.

$\alpha_B := 9.3 + 0.058 \cdot t_{ct2} = 11.62 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$ - коэффициент теплопередачи от

внешней поверхности изоляционного материала в окружающую среду. (215)

$$\delta_H := \frac{\lambda_H \cdot (t_{ct1} - t_{ct2})}{\alpha_B \cdot (t_{ct2} - t_B)} = 9.277 \times 10^{-3} \text{ м} \quad (216)$$

Примем толщину тепловой изоляции 15 мм.

3.8 Подбор опор аппарата

В данном разделе произведем подбор опор из каталога, после чего произведем поверочный расчет на минимальную толщину ребра жесткости, которая обеспечит прочность опоры.

По табл. 29.2 [17] подбираем опоры аппарата, исходя из веса аппарата, заполненного водой, можно взять опоры с выдерживаемой нагрузкой 0.01 МН, выбираем опоры 2 типа, так как аппарат с теплоизоляцией, а также исполнения Б, то есть сварные опоры:

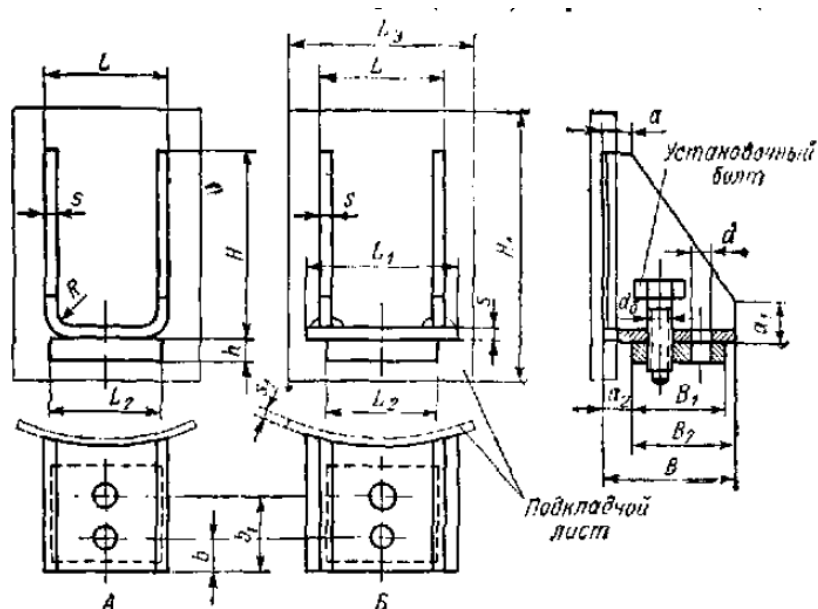


Рисунок 9 – Сварные опоры вертикального аппарата

$$G_{\text{оп}} := 0.0016 \text{ МН}$$

$$L := 0.05 \text{ м}$$

$$L_1 := 0.06 \text{ м}$$

$$L_2 := 0.04 \text{ м}$$

$$B := 0.1 \text{ м}$$

$$B_1 := 0.055 \text{ м}$$

$$B_2 := 0.06 \text{ м}$$

$$b := 0.015 \text{ м}$$

$$b_1 := 0.045 \text{ м}$$

$$H := 0.12 \text{ м}$$

$$h := 0.006 \text{ м}$$

$$s := 0.004 \text{ м}$$

$$a := 0.015 \text{ м}$$

$$a_1 := 0.025 \text{ м}$$

$$a_2 := 0.04 \text{ м}$$

$$R := 0.008 \text{ м}$$

$$d := 0.012 \text{ м}$$

M1C

$$m := 0.73 \text{ - масса, кг - исполнение Б}$$

Подкладной лист:

$$s_1 := 0.006 \text{ м}$$

$$L_s := 0.075 \text{ м}$$

$$H_1 := 0.155 \text{ м}$$

$$n := 2 \text{ - число лап}$$

$$l := B = 0.1 \text{ - вылет опоры}$$

$$z := 2 \text{ - число ребер}$$

$$\sigma := 100 \frac{\text{МН}}{\text{м}^2} \text{ - допускаемое напряжение на сжатие}$$

$$c_1 := 0.001 \text{ м, прибавка}$$

$$G_{\text{ап}} := 100 \cdot g = 1 \times 10^3 \text{ Н} \quad (217)$$

$$G := \frac{G_{\text{ап}}}{10^6} = 1 \times 10^{-3} \text{ Н, нагрузка аппарата} \quad (218)$$

Толщину ребра определяем по формуле:

$$\delta := \left(\frac{2.24 \cdot G}{n \cdot 0.6 \cdot l \cdot z \cdot \sigma} \right) + c + c_1 = 2.093 \times 10^{-3} \text{ м} \quad (219)$$

$$Usl := \begin{cases} \text{"Условие прочности выполняется"} & \text{if } \delta \leq s \\ \text{"Условия прочности НЕ выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

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

Вывод: Подобранные нами опоры полностью соответствуют критериям прочности. Минимальная расчетная толщина ребра жесткости опоры (2,1 мм) меньше выбранной нами из каталога (4 мм), что обеспечивает прочность опор.

4 Расчет отстойника

4.1 Технологический расчет

Технологически расчет производим согласно методике, изложенной в пособии. [19]

$$Q_{\text{сеп}} := 60 \text{ т/ч} - \text{производительность по жидкости [20].}$$

$$Q_{\text{Н}} := 7.2 \text{ т/ч} - \text{производительность по нефти}$$

Процесс обезвоживания протекает без нагрева эмульсии, так как температура ее достаточно высока. Поток сырой нефти входит в блок отстоя с содержанием нефти и воды по массе, соответственно:

$$R_{\text{Н}} := 0.132$$

$$R_{\text{В}} := 0.867.$$

На выходе из блока отстоя первичный поток разделяется на два:

- некондиционная нефть: вода - 4%, нефть - 96%

- пластовая вода: нефть - 0.1%, вода - 99.9%.

Обозначим:

$$Q_{\text{Н.от}} = \text{H}$$

-количество некондиционной нефти из блока отстоя, т/ч

$$Q_{\text{В.от}} = \text{В}$$

-количество подтоварной воды из блока отстоя, т/ч

Тогда составим систему уравнений:

$$Q_{\text{сеп}} \cdot R_{\text{Н}} = 0.96 \cdot \text{H} + 0.001 \cdot \text{В} \quad (220)$$

$$Q_{\text{сеп}} \cdot R_{\text{В}} = 0.04 \cdot \text{H} + 0.999 \cdot \text{В} \quad (221)$$

Решая эту систему уравнений, выражаем одно неизвестное и подставляем в другое уравнение:

$$B := \frac{\left(Q_{\text{сеп}} \cdot R_B - \frac{0.04}{0.96} \cdot Q_{\text{сеп}} \cdot R_H \right)}{0.999 - \frac{0.04 \cdot 0.001}{0.96}} = 51.766 \text{ т/ч} \quad (222)$$

$$H := \frac{\left(Q_{\text{сеп}} \cdot R_H - 0.001 \cdot B \right)}{0.96} = 8.234 \text{ т/ч} \quad (223)$$

Таким образом, количество некондиционной нефти и количество пластовой воды после блока отстоя, соответственно равны:

$$Q_{\text{н.от}} := H = 8.234 \text{ т/ч, в том числе}$$

$$\text{-нефть: } 0.96 \cdot Q_{\text{н.от}} = 7.904 \text{ т/ч} \quad (224)$$

$$\text{-вода: } 0.04 \cdot Q_{\text{н.от}} = 0.329 \text{ т/ч} \quad (225)$$

$$Q_{\text{в.от}} := B = 51.766 \text{ т/ч, в том числе}$$

$$\text{-нефть: } 0.001 \cdot Q_{\text{в.от}} = 0.052 \text{ т/ч} \quad (226)$$

$$\text{-вода: } 0.999 \cdot Q_{\text{в.от}} = 51.715 \text{ т/ч} \quad (227)$$

Правильность расчета материального баланса блока отстоя определяется выполнением условия:

$$\sum Q_{\text{сеп}} = \sum Q_{\text{i.от}} \quad (228)$$

$$SQ_{\text{сеп}} := Q_{\text{сеп}} = 60 \text{ т/ч}$$

$$SQ_{\text{i.от}} := Q_{\text{н.от}} + Q_{\text{в.от}} = 60 \text{ т/ч} \quad (229)$$

Условия выполняются. Данные по расчету блока отстоя заносим в таблицу.

Определяем процентный выход потоков в расходной части материального баланса:

-некондиционной нефти:

$$\frac{Q_{\text{н.от}}}{Q_{\text{сеп}}} \cdot 100 = 13.723 \% \quad (230)$$

-подтоварной воды:

$$\frac{Q_{\text{в.от}}}{Q_{\text{сеп}}} \cdot 100 = 86.277 \% \quad (231)$$

Таблица 1 – Материальный баланс блока отстоя

| Приход | | | Расход | | |
|---|----------------|-------------|------------------------------------|--------|---------|
| | % масс | т/ч | | % масс | т/ч |
| Эмульсия, в том числе: -нефть -вода | 13,26 86,74 | 7,2 52,8 | Некондиционная нефть, в том числе: | 13,723 | |
| | | | -нефть | 96 | 7,904 |
| | | | -вода | 4 | 0,32929 |
| | | | Всего | 100 | 8,234 |
| | | | Некондиционная нефть, в том числе: | 86,277 | |
| -нефть | 0,1 | 0,052 | | | |
| -вода | 99,9 | 51,715 | | | |
| Всего | 100 | 51,766 | | | |
| Итого | 100 | 60 | Итого | 100 | 60 |

Диаметр рассчитывается по следующей формуле:

$$D \geq 0.981 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{Q_{\text{с}} \cdot \rho_{\text{с}}}{\mu_{\text{с}} \cdot \sqrt{f(\varepsilon)}} \quad (232)$$

нагрузка аппарата по смеси:

$$Q_{\text{с}} := 60 \frac{\text{м}^3}{\text{ч}}$$

плотность смеси:

$$\rho_{\text{с}} := 880 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

вязкость смеси:

$$\mu_{\text{с}} := 6.1 \text{ Па}\cdot\text{с}$$

$f(\varepsilon)$ - функция относительной высоты водяной подушки в зоне отстоя

$$\underline{\varepsilon} := 0.4\epsilon$$

$$f(\varepsilon) := 0.5\pi + (1 - \varepsilon) \cdot \sqrt{\varepsilon \cdot (2 - \varepsilon)} + a \sin(1 - \varepsilon) \quad (233)$$

$$f(\varepsilon) = 2.596$$

$$D := 0.981 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{Q_c \cdot \rho_c}{\mu_c \cdot f(\varepsilon)} \quad (234)$$

$$D = 3.245 \text{ м}$$

Принимаем

$$\underline{D} := 3.4 \text{ м}$$

$$\tau_0 < \tau_n$$

Основное условие процесса отстаивания состоит в следующем:

где τ — время отстаивания.

$$\frac{D}{\omega_0} = \frac{L}{\omega_n} \quad (235)$$

Если допустить, что $\tau_0 = \tau_n$, то:

ω_0 - горизонтальная скорость движения эмульсии в зоне отстоя

ω_n - скорость осаждения капли воды в полидисперсной эмульсии в зоне

отстоя

ω_n найдем из уравнения Стокса:

$$\omega_0 := 0.0000 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

радиус осаждаемых капель воды:

$$r := 0.55 \cdot 10^{-3} \text{ м}$$

плотность воды:

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

плотность нефти:

$$\rho_{\text{H}} := 870 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

ускорение свободного падения:

$$g := 9.8 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$$

вязкость нефти:

$$\mu := 4.58 \text{ Па}\cdot\text{с}$$

$$\omega_{\text{н}} := \frac{2 \cdot r^2 (\rho_{\text{В}} - \rho_{\text{H}}) \cdot g}{9\mu} \quad (236)$$

$$\omega_{\text{н}} = 9.339 \times 10^{-6} \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

высота водной подушки:

$$h := \frac{D}{2} \varepsilon \quad (237)$$

$$h = 0.782 \text{ м}$$

Высота зоны отстоя:

$$h_{\text{ос}} := D - h = 2.618 \text{ м} \quad (238)$$

Длина отстойника:

$$L := \frac{(D - h) \cdot \omega_0}{\omega_{\text{н}}} \quad (239)$$

$$L = 19.623 \text{ м}$$

Принимаем

$$L := 21 \text{ м}$$

4.2 Расчет диаметров патрубков

Патрубки подбирают исходя из объемного расхода теплоносителей и обеспечения требуемой скорости

$$G_{\text{СМ}} := 100 \frac{\text{кг}}{\text{с}}$$

$$G_{\text{Н}} := 12. \epsilon \frac{\text{кг}}{\text{с}}$$

$$G_{\text{В}} := 9 \epsilon \frac{\text{кг}}{\text{с}}$$

$$G_{\text{Г}} := 1. \epsilon \frac{\text{м}^3}{\text{с}}$$

$$\rho_{\text{НВЫХ}} := 870 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

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

$$\rho_{\text{СМВХ}} := 900 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

$$\rho_{\text{ГВЫХ}} := 1.30 \cdot \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

Определим объемные расходы теплоносителей:

Смесь на входе в аппарат:

$$V_{\text{СМВХ}} := \frac{G_{\text{СМ}}}{\rho_{\text{СМВХ}}} \quad (240)$$

$$V_{\text{СМВХ}} = 0.111 \frac{\text{м}^3}{\text{с}}$$

Нефть на выходе из аппарата:

$$V_{\text{НВЫХ}} := \frac{G_{\text{Н}}}{\rho_{\text{НВЫХ}}} \quad (241)$$

$$V_{\text{НВЫХ}} = 0.014 \frac{\text{м}^3}{\text{с}}$$

Вода на выходе из аппарата:

$$V_{\text{ВВЫХ}} := \frac{G_{\text{В}}}{\rho_{\text{ВВЫХ}}} \quad (242)$$

$$V_{\text{ВВЫХ}} = 0.095 \frac{\text{М}^3}{\text{с}}$$

Газ на выходе из аппарата:

$$V_{\text{ГВЫХ}} := \frac{G_{\text{Г}}}{\rho_{\text{ГВЫХ}}} \quad (243)$$

$$V_{\text{ГВЫХ}} = 1.228 \frac{\text{М}^3}{\text{с}}$$

Зададимся скоростью движения теплоносителей на входе и выходе из аппарата:

$$\omega_{\text{СМВХ}} := 1.5 \frac{\text{М}}{\text{с}}$$

скорость движения смеси на входе в аппарат

$$\omega_{\text{НВЫХ}} := 1.4 \frac{\text{М}}{\text{с}}$$

скорость движения нефти на выходе из аппарата

$$\omega_{\text{ВВЫХ}} := 1 \frac{\text{М}}{\text{с}}$$

скорость движения воды на выходе из аппарата

$$\omega_{\text{ГВЫХ}} := 2 \text{с} \frac{\text{М}}{\text{с}}$$

скорость движения газа на выходе из аппарата

Рассчитаем диаметры патрубков аппарата и выберем стандартные согласно расчету по ГОСТ 8732-78 [11].

Определим расчетный диаметр входного патрубка для смеси:

$$d_{\text{СМВХ}} := \sqrt{\frac{4 \cdot V_{\text{СМВХ}}}{\omega_{\text{СМВХ}} \cdot \pi}} \quad (244)$$

$$d_{\text{СМВХ}} = 0.307 \text{ м}$$

Выберем ближайший стандартный патрубок:

$$d := 0.32 \text{ м}$$

Толщина стенки патрубка 8 мм. Длина 0.5 м.

Определим расчетный диаметр выходного патрубка для нефти:

$$d_{\text{нВых}} := \sqrt{\frac{4 \cdot V_{\text{нВых}}}{\omega_{\text{нВых}} \cdot \pi}} \quad (245)$$

$$d_{\text{нВых}} = 0.124 \text{ м}$$

Выберем ближайший стандартный патрубок:

$$d := 0.15 \text{ м}$$

Толщина стенки патрубка 8 мм. Длина 0.5 м.

Определим расчетный диаметр выходного патрубка для воды:

$$d_{\text{вВых}} := \sqrt{\frac{4 \cdot V_{\text{вВых}}}{\omega_{\text{вВых}} \cdot \pi}} \quad (246)$$

$$d_{\text{вВых}} = 0.348 \text{ м}$$

Выберем ближайший стандартный патрубок:

$$d := 0.40 \text{ м}$$

Толщина стенки патрубка 10 мм. Длина 0.5 м.

Определим расчетный диаметр выходного штуцера для газа:

$$d_{\text{гВых}} := \sqrt{\frac{4 \cdot V_{\text{гВых}}}{\omega_{\text{гВых}} \cdot \pi}} = 0.094 \text{ м} \quad (247)$$

Выберем ближайший стандартный патрубок:

$$d_{\text{тВых}} = 0.1 \text{ м}$$

Толщина стенки патрубка 8 мм. Длина 0.5 м.

4.3 Механический расчет

В данном разделе произведем расчет на проверку выполнения критериев надежности, исходя из нагрузок на рассчитываемый аппарат. Для отдельных узлов отстойника критерии надежности будут следующие:

- Прочность
- Жесткость (устойчивость)

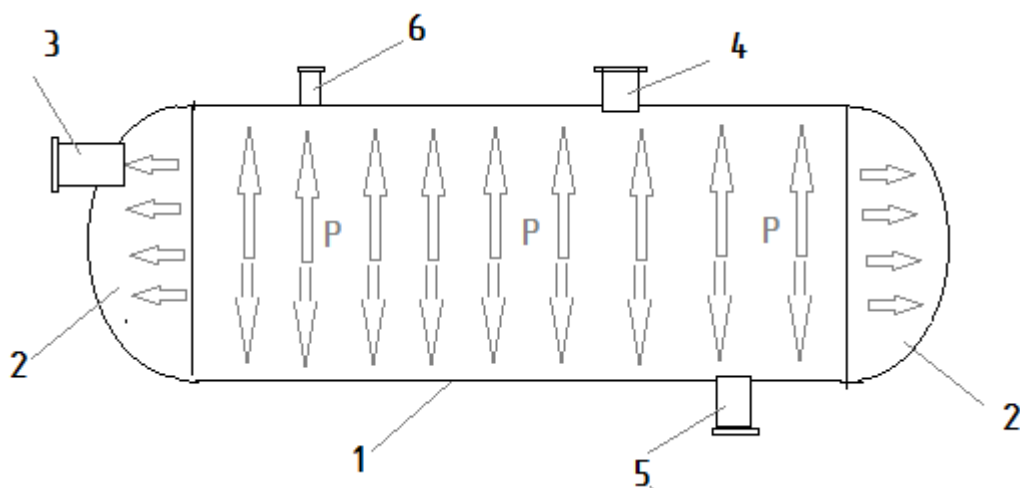


Рисунок 10 - расчетная схема отстойника.

1 – цилиндрическая обечайка; 2 – эллиптическое днище (крышка); 3 – патрубок входа водонефтяной эмульсии; 4 – патрубок выхода нефти; 5 – патрубок выхода пластовой воды; 6 – патрубок выхода газа;

4.3.1 Определение расчетных параметров

В данном разделе производим механический расчет на прочность. Целью данного расчета является определение минимальной толщины стенки сосуда при условиях испытания.

Расчет толщин стенок аппарата выполняем согласно ГОСТ [13].

$$L_{об} := 1000L = 2.1 \times 10^4 \text{ мм} \quad (248)$$

$$D := 1000D = 3.4 \times 10^3 \text{ мм} \quad (249)$$

$t := 80^\circ\text{C}$, температура смеси

$p := 0.8 \text{ МПа}$ - давление в сосуде

Допускаемое напряжение стали при рабочей температуре (12x18н10т) [13]:

$$\sigma_{t1k} := 0.83 \cdot 127 = 105.41 \text{ МПа} \quad (250)$$

$\sigma_{t20} := 0.83 \cdot 184 = 152.72 \text{ МПа}$ - допускаемое напряжение материала при нормальных условиях (251)

$\eta := 1$ - коэффициент запаса прочности [13].

$R_{02} := 276 \text{ МПа}$ - предел текучести при 20 градусах [13].

$\eta_y := 2.4$ - коэффициент запаса устойчивости для рабочих условий [13]

$\eta_t := 1.1$ - коэффициент запаса по пределу текучести для гидравлических испытаний [14].

Для условий испытания сосудов из углеродистых, низколегированных, ферритных, аустенитно-ферритных мартенситных сталей и сплавов на железноникелевой основе допускаемое напряжение вычисляют по формуле [13]:

$$\sigma_{и} := \frac{R_{02}}{\eta_t} = 250.909 \text{ МПа} \quad (252)$$

Пробное давление при испытании при рабочем давлении $p=0.1$ МПа в соответствии с Правилами устройства и безопасной эксплуатации сосудов, работающих под давлением для сварных аппаратов [15]:

$$p_{\text{и}} := 1.25(p) \cdot \frac{\sigma_{t20}}{\sigma_{t1к}} = 1.449 \text{ МПа} \quad (253)$$

Под расчетным давлением в условиях испытаний для элементов сосудов или аппаратов следует принимать давление, которому они подвергаются во время пробного испытания, включая гидростатическое давление.

Расчетное давление будет равным:

$$\rho := p = 0.8 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

плотность циркуляционной воды

$$g = 9.8 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

ускорение свободного падения

$$H := \frac{D}{1000} = 3.4 \text{ м, высота сосуда} \quad (254)$$

$$P_{\text{рас}} := p_{\text{и}} + \frac{\rho \cdot g \cdot H}{10^6} = 1.449 \text{ МПа} \quad (255)$$

4.3.2 Расчет толщины стенок цилиндрической обечайки

В данном разделе производим механический расчет на прочность цилиндрической обечайки сосуда (см. рисунок 10 поз.№1). Целью данного расчета является определение минимальной толщины стенки сосуда при условиях испытания.

$$s \geq s_p + c$$

ϕ -коэффициент прочности продольного сварного шва

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

$$\phi_p := 0.9 [13]$$

$$s_{p1} := \max \left[\frac{P_{рас} \cdot D}{2 \cdot \phi_p \cdot \sigma_{и} - P_{рас}}, \frac{(p) \cdot D}{2 \cdot \sigma_{т1к} \cdot \phi_p - (p)} \right] = 14.396 \text{ мм} \quad (256)$$

$$s_p := \text{ceil}(s_{p1}) = 15 \text{ мм}$$

расчетная толщина стенки

$$c := 3 \text{ мм}$$

прибавка на коррозию и эрозию

$$s := s_p + c = 18 \text{ мм}$$

Принимаем толщину стенки равную 20 мм.

$$s := 20 \text{ мм}$$

$$Us1 := \begin{cases} \text{"Условие применения формул выполняется"} & \text{if } \frac{s - c}{D} < 0.1 \\ \text{"Условия применения формул НЕ выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$Us1 = \text{"Условие применения формул выполняется"}$$

Допускаемое внутреннее избыточное давление:

$$p_d := \frac{2 \cdot \sigma_{т1к} \cdot \phi_p \cdot (s - c)}{D + (s - c)} \quad (257)$$

$$p_d = 0.944 \text{ МПа}$$

Проверка на условие прочности

$$Us1 := \begin{cases} \text{"Условие прочности выполняется"} & \text{if } (p) \leq p_d \\ \text{"Условия прочности НЕ выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$Us1 = \text{"Условие прочности выполняется"}$$

Вывод: в результате расчета приняли исполнительную толщину стенки корпуса сосуда (20 мм). При принятой толщине стенки условие прочности выполняется (расчетное давление меньше допустимого: 0,8 МПа < 0,944 МПа).

4.3.3 Расчет толщины стенки стандартной эллиптической крышки (днища)

В данном разделе производим механический расчет на прочность эллиптического днища (крышки) (см. рисунок 10 поз.№2). Целью данного расчета является определение минимальной толщины стенки сосуда при условиях испытания.

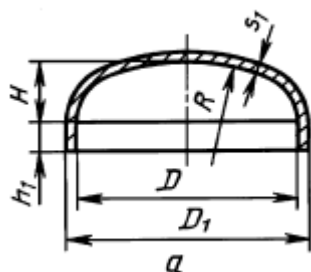


Рисунок 10 - Эллиптическая крышка

$$\underline{H} := 0.25D \quad (258)$$

$H = 850_{\text{мм}}$ -высота выпуклой части днища без учета цилиндрической части

$$\underline{Us1} := \begin{cases} \text{"Условие применения формул выполняется"} & \text{if } 0.2 \leq \frac{H}{D} \leq 0.5 \\ \text{"Условия применения формул НЕ выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$Us1 = \text{"Условие применения формул выполняется"}$$

ϕ - коэффициент прочности сварных швов

$$\phi := 1$$

для крышек изготовленных из одной заготовки:

$$\underline{R} := \frac{D^2}{4H} \quad (259)$$

$R = 3.4 \times 10^3 \text{мм}$ -радиус кривизны в вершине крышки по внутренней поверхности

$$\underline{R} := \text{ceil}(R)$$

$$R = 3.4 \times 10^3$$

$$s_{1p} := \max \left[\frac{P_{рас} \cdot R}{2 \cdot \phi \cdot p \cdot \sigma_{и} - 0.5 P_{рас}}, \frac{(p) \cdot R}{2 \cdot \sigma_{т1к} \cdot \phi \cdot p - 0.5 (p)} \right] = 14.366 \quad \text{мм} \quad -$$

расчетная толщина стенки крышки (260)

$$s_2 := \text{ceil}(s_{1p} + c) = 18 \text{ мм}, \text{-исполнительная толщина стенки крышки (261)}$$

Допускаемое внутреннее избыточное давление

$$p_{d1} := \frac{2 \cdot \sigma_{т1к} \cdot \phi \cdot (s_2 - c)}{R + 0.5 (s_2 - c)} \quad (262)$$

$$p_{d1} = 0.928 \quad \text{МПа}$$

Принимаем толщину стенки 20 мм.

$$s := 20 \text{ мм}$$

Проверка на условие прочности

$$Us1 := \begin{cases} \text{"Условие прочности выполняется"} & \text{if } p \leq p_{d1} \\ \text{"Условия прочности НЕ выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$Us1 = \text{"Условие прочности выполняется"}$$

$$h_1 := 0.8 \cdot \sqrt{D \cdot (s_2 - c)} = 180.665 \quad \text{мм} \quad (263)$$

Принимаем длину отбортовки 200 мм.

$$h_1 := 200 \text{ мм}$$

Вывод: в результате расчета приняли исполнительную толщину стенки корпуса сосуда (20 мм). При принятой толщине стенки условие прочности выполняется (расчетное давление меньше допустимого: 0,8 МПа < 0,928 МПа). Также рассчитали длину отбортовки эллиптического днища (крышки) и приняли равной 200 мм.

4.3.4 Расчет укрепления отверстий при внутреннем и внешнем давлениях

В данном разделе произведем расчет укрепления отверстий. Целью расчета является определение отверстий, которые требуют укрепления, а также то, насколько необходимо их укрепить.

Расчет укрепления отверстий производим согласно ГОСТ [18].

Марка стали 09Г2С

Расчетная температура:

$$t = 80 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Допускаемое напряжение в рабочем состоянии при $t = 80 \text{ } ^\circ\text{C}$:

$$\sigma_{\text{д}} := 10^6 \sigma_{\text{т1к}} = 1.054 \times 10^8 \text{ Па} \quad (264)$$

Внутреннее расчетное давление:

$$P_{\text{в}} := 10^6 p = 8 \times 10^5 \text{ Па} \quad (265)$$

Внешнее расчетное давление:

$$P_{\text{н}} := 1 \cdot 10^5 \text{ Па}$$

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

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

Внутренний диаметр оболочки (максимальный):

$$D_{\text{вн}} := 340 \text{ мм}$$

Длина неукрепленной части оболочки:

$$l_{\text{н}} := 100 \text{ мм}$$

Расстояние от центра укрепления отверстия до оси оболочки:

$$r_{\text{н}} := 170 \text{ мм}$$

Исполнительная ширина накладного кольца:

$$B := 15 \text{ мм}$$

Исполнительная толщина стенки оболочки:

$$S_{\text{н}} := 2 \text{ мм}$$

Исполнительная толщина накладного кольца:

$$s_2 := 14 \text{ мм}$$

Диаметр отверстия:

$$d := 40 \text{ мм}$$

Длина внешней части штуцера:

$$l_1 := 46 \text{ мм}$$

Длина внутренней части штуцера:

$$l_2 := 2 \text{ мм}$$

Прибавка к расчетной толщине стенки:

$$c := 3 \text{ мм}$$

Коэффициент прочности сварных швов:

$$\phi := 1$$

Высота стандартного эллиптического днища:

$$H := 0.25 \cdot D = 850 \text{ мм} \quad (266)$$

Толщину стенки штуцера принимаем:

$$s_1 := s$$

Половина угла раствора при вершине конической обечайки:

$$\alpha := \frac{3.14 \cdot 35}{180} \quad (267)$$

$$\alpha = 0.611$$

Радиус кривизны в вершине днища по внутренней поверхности:

$$R := 340 \text{ мм}$$

Угол между осью накладного штуцера и нормалью к поверхности конической оболочки:

$$\gamma := \frac{60 \cdot 3.14}{180} \quad (268)$$

$$\gamma = 1.047$$

Нормальный модуль упругости:

$$E_1 := 1.91 \cdot 10^{11} \text{ Па}$$

коэффициент Пуассона:

$$\mu_1 := 0.3$$

коэффициент запаса устойчивости:

$$n_y := 2.4$$

Диаметр основания конической оболочки:

$$D1 := 273_{\text{мм}}$$

Средний диаметр оболочки у отверстия:

$$Dc := 340_{\text{мм}}$$

Средний радиус оболочки у штуцера:

$$dc := 200_{\text{мм}}$$

Средний диаметр штуцера

$$Rc := 400_{\text{мм}}$$

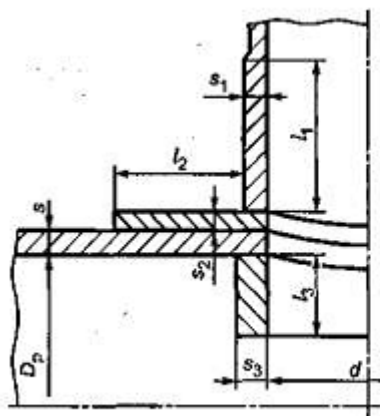


Рисунок 11 - Основная расчетная схема соединения штуцера со стенкой сосуда

Выберите тип оболочки:

$$n = 1$$

$$\text{Тип} := \begin{cases} \text{"цилиндрическая оболочка"} & \text{if } n = 1 \\ \text{"эллиптическая оболочка"} & \text{if } n = 2 \\ \text{"коническая оболочка"} & \text{if } n = 3 \\ \text{"сферическая оболочка"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{Тип} = \text{"цилиндрическая оболочка"}$$

Длина переходной части в конической обечайке:

$$a_1 := 0.7 \cdot \sqrt{\frac{D}{\cos(\alpha)}} \cdot (s - c) \quad (269)$$

Диаметр гладкой конической обечайки без тороидального перехода:

$$D_k := D - 1.4a_1 \cdot \sin(\alpha) \quad (270)$$

Диаметры укрепляемых элементов:

$$D_p := \begin{cases} D_p \leftarrow D & \text{if } n = 1 \\ D_p \leftarrow \left[\frac{D^2}{2 \cdot H} \cdot \sqrt{1 - 4 \cdot \left(\frac{D^2 - 4 \cdot H^2}{D^4} \right) \cdot r^2} \right] & \text{if } n = 2 \\ D_p \leftarrow \frac{D_k}{\cos(\alpha)} & \text{if } n = 3 \\ D_p \leftarrow 2 \cdot R & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$D_p = 3.4 \times 10^3 \text{ мм}$$

Расчетный диаметр отверстия в стенке обечайки:

$$d_p := \begin{cases} d_p \leftarrow d + 2 \cdot c & \text{if } n = 1 \\ d_p \leftarrow \frac{d + 2 \cdot c}{\sqrt{1 - \left(\frac{2 \cdot r}{D_p} \right)^2}} & \text{if } n = 2 \\ d_p \leftarrow \frac{d + 2 \cdot c}{\cos(\gamma)} & \text{if } n = 3 \\ d_p \leftarrow d + 2 \cdot c & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$d_p = 408 \text{ мм}$$

$$\text{Прим} := \begin{cases} \text{"Отношение диаметров НЕ выполняется"} & \text{if } \left(\frac{d_p - 2 \cdot c}{D} > 1 \right) \text{ if } n = 1 \\ \left(\frac{d_p - 2 \cdot c}{D} > 0.6 \right) & \text{if } n = 2 \\ \left(\frac{d_p - 2 \cdot c}{D_k} > 1 \right) & \text{if } n = 3 \\ \left(\frac{d_p - 2 \cdot c}{D} > 0.6 \right) & \text{otherwise} \\ \text{"Отношение толщины к диаметру НЕ выполняется"} & \text{if } \left(\frac{s - c}{D} > 0.1 \right) \text{ if } n = 1 \\ \left(\frac{s - c}{D} > 0.1 \right) & \text{if } n = 2 \\ \frac{s - c}{D_k} > \frac{0.1}{\cos(\alpha)} & \text{if } n = 3 \\ \left(\frac{s - c}{D} > 0.1 \right) & \text{otherwise} \\ \text{"Условия применения формул выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Тип = "цилиндрическая оболочка"

Прим = "Условия применения формул выполняются"

Расчет при внутреннем давлении.

Расчетная толщина стенок укрепляемых элементов:

$$s_p := \begin{cases} \frac{P_B \cdot D_p}{2 \cdot \phi \cdot \sigma_D - P_B} & \text{if } n = 1 \\ \frac{P_B \cdot D_p}{4 \cdot \phi \cdot \sigma_D - P_B} & \text{if } n = 2 \\ \frac{P_B \cdot D_p}{2 \cdot \phi \cdot \sigma_D - P_B} \cdot \frac{1}{\cos(\alpha)} & \text{if } n = 3 \\ \frac{P_B \cdot D_p}{4 \cdot \phi \cdot \sigma_D - P_B} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\sigma_D = 1.054 \times 10^8$$

$$s_p = 12.951 \text{ мм}$$

Расчетная толщина стенки штуцера:

$$s_{p1} := \frac{P_B \cdot (d + 2 \cdot c)}{2 \cdot \sigma_D \cdot \phi - P_B} \quad (271)$$

$$s_{p1} = 1.554 \text{ мм}$$

Расчетные длины штуцеров:

$$l_{1p} := \min \left[l_1, \sqrt{(d + 2 \cdot c) \cdot (s_1 - c)} \right] \quad (272)$$

$$l_{1p} = 83.283 \text{ мм}$$

$$l_{2p} := \min \left[l_2, 0.5 \cdot \sqrt{(d + 2 \cdot c) \cdot (s - 2c)} \right] \quad (273)$$

$$l_{2p} = 20 \text{ мм}$$

Расчетная ширина накладного кольца:

$$l_{3p} := \min \left[l_3, \sqrt{D_p \cdot (s + s_2 - c)} \right] \quad (274)$$

$$l_{3p} = 150 \text{ мм}$$

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

$$l_p := \sqrt{D_p \cdot (s - c)} \quad (275)$$

$$l_p = 240.416 \text{ мм}$$

Отношения допускаемых напряжений:

для внешней части штуцера

$$\chi_1 := \min \left(1, \frac{\sigma_{D1}}{\sigma_D} \right) \quad (276)$$

$$\chi_1 = 1$$

для внутренней части штуцера:

$$\chi_2 := \min \left(1, \frac{\sigma_{D1}}{\sigma_D} \right) \quad (277)$$

$$\chi_2 = 1$$

для накладного кольца

$$\chi_3 := \min\left(1, \frac{\sigma_D}{\sigma_D}\right) \quad (278)$$

$$\chi_3 = 1$$

Расчетный диаметр одиночного отверстия, не требующий дополнительного укрепления:

$$d_{0p} := 0.4 \cdot \sqrt{D_p \cdot (s - c)} \quad (279)$$

$$d_{0p} = 96.167 \text{ мм}$$

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

$$d_0 := 2 \cdot \left[\left(\frac{s - c}{s_p} \right) - 0.8 \right] \cdot \sqrt{D_p \cdot (s - c)} = 246.487 \text{ мм} \quad (280)$$

$$\text{Пров1} := \begin{cases} \text{"необходимо укрепление отверстия"} & \text{if } d_0 < d_p \\ \text{"укрепление отверстия не требуется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Тип = "цилиндрическая оболочка"

Пров1 = "необходимо укрепление отверстия"

$$A_p := 0.5 \cdot (d_p - d_{0p}) \cdot s_f \quad (281)$$

$$A_p = 2.019 \times 10^3 \text{ мм}^2$$

$$\text{Пров2} := \begin{cases} \text{"Условие укрепления отверстия выполняются"} & \text{if } l_{1p} \cdot (s_1 - s_{p1} - c) \cdot \chi_1 + l_{3p} \cdot s_2 \cdot \chi_3 + l_{2p} \cdot (s_1 - c - c) \\ \text{"Условие укрепления отверстия НЕ выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Пров2 = "Условие укрепления отверстия выполняются"

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

Площадь накладного кольца:

$$A_2 := s_2 \cdot l_3$$

$$\text{Пров3} := \begin{cases} \text{"Условие укрепления отверстия выполняются"} & \text{if } A_2 \geq \frac{1}{\chi_3} \cdot \left[0.5 \cdot (d_p - d_{0p}) \cdot s_p - l_p \cdot (s - s_p - c) - l_{1p} \cdot (s_1 - s_{p1} - c) \right] \\ \text{"Условие укрепления отверстия НЕ выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Пров3 = "Условие укрепления отверстия выполняются"

Допускаемое внутреннее избыточное давление:

Коэффициент понижение прочности:

$$K := \begin{cases} K \leftarrow 1 & \text{if } n = 1 \\ K \leftarrow 2 & \text{if } n = 2 \\ K \leftarrow 1 & \text{if } n = 3 \\ K \leftarrow 2 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$K = 1$$

Тип = "цилиндрическая оболочка"

$$V := \frac{1 + \frac{l_{1p} \cdot (s_1 - c) \cdot \chi_1 + l_{2p} \cdot s_2 \cdot \chi_2 + l_{3p} \cdot (s_2 - c - c) \cdot \chi_3}{l_p \cdot (s - c)}}{1 + 0.5 \cdot \frac{d_p - d_{0p}}{l_p} + K \cdot \frac{d + 2 \cdot c}{D_p} \cdot \frac{\phi}{\phi} \cdot \frac{l_{1p}}{l_p}} \quad (281)$$

$$V = 1.011$$

Находим допускаемое избыточное давление:

$$P_{дв} := \frac{2 \cdot K \cdot (s - c) \cdot \phi \cdot \sigma_d \cdot V}{D_p + (s - c) \cdot V} \quad (282)$$

$$P_{дв} = 1.06 \times 10^6 \text{ Па}$$

Расчет при внешнем давлении.

Коэффициент B_1 для цилиндрической оболочки:

$$B_1 := \max \left[1.0, 0.47 \left(\frac{P_H}{10^{-5} \cdot E_1} \right)^{0.067} \cdot \left(\frac{1}{D_p} \right)^{0.4} \right] = 1 \quad (283)$$

$$B_1 = 1$$

Коэффициент $K_э$ для эллиптической и сферической оболочек:

$$x := 10 \cdot \frac{(s - c)}{D} \cdot \left(\frac{D_p}{2 \cdot H} - 2 \cdot \frac{H}{D_p} \right) \quad (284)$$

$$x = 0.075$$

$$K_э := \frac{1 + (2.4 + 8 \cdot x) \cdot x}{1 + (3 + 10 \cdot x) \cdot x} \quad (285)$$

$$K_э = 0.956$$

Определение эквивалентного диаметра конического днища:

$$D_e := \max \left[\left[\frac{D_p + D1}{2 \cdot \cos(\alpha)} \cdot \frac{D_p}{\cos(\alpha)} - 0.31 \cdot (D_p + D1) \cdot \sqrt{\frac{D_p + D1}{(s - c)} \cdot \tan(\alpha)} \right] \right] = 2.241 \times 10^3 \quad (286)$$

$$D_e = 2.241 \times 10^3 \text{ мм}$$

Определение длины конического днища

$$L_e := \frac{D_p - D1}{2 \cdot \sin(\alpha)} \quad (287)$$

$$L_e = 2.727 \times 10^3 \text{ мм}$$

Определение коэффициента B2 для конической оболочки:

$$B_2 := \min \left[\left[1.0 \cdot \frac{9.45 \cdot D_e}{L_e} \cdot \sqrt{\frac{D_e}{100 \cdot (s - c)}} \right] \right] = 1 \quad (288)$$

$$B_2 = 1$$

Расчетная толщины стенок укрепляемых элементов:

$$s_p := \begin{cases} \max \left[1.06 \cdot \frac{10^{-2} \cdot D_p}{B_1} \cdot \left(\frac{P_H}{10^{-5} \cdot E_1} \cdot \frac{1}{D_p} \right)^{0.4}, \frac{P_H \cdot D_p \cdot 1.2}{2 \cdot \sigma_d - P_H} \right] & \text{if } n = 1 \\ \max \left(\frac{K_э \cdot D_p}{161} \cdot \sqrt{\frac{n_y \cdot P_H}{10^{-5} \cdot E_1}}, \frac{1.2 \cdot P_H \cdot D_p}{2 \cdot \sigma_d} \right) & \text{if } n = 2 \\ \max \left[1.06 \cdot \frac{10^{-2} \cdot D_e}{B_2} \cdot \left(\frac{P_H}{10^{-5} \cdot E_1} \cdot \frac{L_e}{D_e} \right)^{0.4}, \frac{1.2 \cdot P_H \cdot D_p}{2 \cdot \phi \cdot \sigma_d - P_H} \cdot \frac{1}{\cos(\alpha)} \right] & \text{if } n = 3 \\ \max \left(\frac{K_э \cdot \frac{D_p}{2}}{161} \cdot \sqrt{\frac{n_y \cdot P_H}{10^{-5} \cdot E_1}}, \frac{1.2 \cdot P_H \cdot \frac{D_p}{2}}{2 \cdot \sigma_d} \right) & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$s_p = 6.789 \text{ мм}$$

Тип = "цилиндрическая оболочка"

Расчетная толщина стенки штуцера:

$$s_{p1} := \frac{P_H \cdot (d + 2 \cdot c)}{2 \cdot \sigma_d \cdot \phi - P_H} \quad (289)$$

$$s_{p1} = 0.194 \text{ мм}$$

Расчетные длины штуцеров:

$$l_{1p} := \min \left[11, \sqrt{(d + 2 \cdot c) \cdot (s_1 - c)} \right] \quad (290)$$

$$l_{1p} = 83.283 \text{ мм}$$

$$l_{2p} := \min \left[12, 0.5 \cdot \sqrt{(d + 2 \cdot c) \cdot (s - 2c)} \right] \quad (291)$$

$$l_{2p} = 20 \text{ мм}$$

Расчетная ширина накладного кольца:

$$l_{3p} := \min \left[13, \sqrt{D_p \cdot (s + s_2 - c)} \right] \quad (292)$$

$$l_{3p} = 150 \text{ мм}$$

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

$$l_p := \sqrt{D_p \cdot (s - c)} \quad (293)$$

$$l_p = 240.416 \text{ мм}$$

Отношения допускаемых напряжений:

для внешней части штуцера

$$\chi_{11} := \min \left(1, \frac{\sigma_{д1}}{\sigma_{д}} \right) \quad (294)$$

$$\chi_{11} = 1$$

для внутренней части штуцера:

$$\chi_{22} := \min \left(1, \frac{\sigma_{д1}}{\sigma_{д}} \right) \quad (295)$$

$$\chi_{22} = 1$$

для накладного кольца:

$$\chi_{33} := \min \left(1, \frac{\sigma_{д}}{\sigma_{д}} \right) \quad (296)$$

$$\chi_{33} = 1$$

Расчетный диаметр одиночного отверстия, не требующий дополнительного укрепления:

$$d_{0p} := 0.4 \cdot \sqrt{D_p \cdot (s - c)} \quad (297)$$

$$d_{0p} = 96.167 \text{ мм}$$

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

$$d_0 := 2 \cdot \left[\left(\frac{s-c}{sp} \right) - 0.8 \right] \cdot \sqrt{D_p \cdot (s-c)} \quad (298)$$

$$d_0 = 819.435 \text{ мм}$$

$$\text{Пров1} := \begin{cases} \text{"необходимо укрепление отверстия"} & \text{if } d_0 < d_p \\ \text{"укрепление отверстия не требуется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Тип = "цилиндрическая оболочка"

Пров1 = "укрепление отверстия не требуется"

Допускаемое наружное давление:

$$B_3 := \min \left[1.0, 9.45 \frac{D_p}{1} \cdot \sqrt{\frac{D_p}{100 \cdot (s-c)}} \right] = 1 \quad (299)$$

$$B_4 := \min \left[1.0, 9.45 \frac{D_e}{Le} \cdot \sqrt{\frac{D_e}{100 \cdot (s-c)}} \right] = 1 \quad (300)$$

Определим допускаемое давление от устойчивости в пределах упругости:

$$P_{дЕ} := \begin{cases} \frac{20.8 \cdot 10^{-6} \cdot E_1 \cdot D_p}{n_y \cdot B_3} \cdot \frac{1}{1} \cdot \left[\frac{100 \cdot (s-c)}{D_p} \right]^{2.5} & \text{if } n = 1 \\ \frac{2.6 \cdot 10^{(-6)} \cdot E_1}{n_y} \cdot \left[\frac{100 \cdot (s-c)}{K_э \cdot D_p} \right]^2 & \text{if } n = 2 \\ \frac{20.8 \cdot 10^{(-6)} \cdot E_1 \cdot D_e}{n_y \cdot B_1} \cdot \frac{1}{Le} \cdot \left[\frac{100 \cdot (s-c)}{D_e} \right]^{2.5} & \text{if } n = 3 \\ \frac{2.6 \cdot 10^{(-6)} \cdot E_1}{n_y} \cdot \left[\frac{100 \cdot (s-c)}{K_э \cdot \frac{D_p}{2}} \right]^2 & \text{if } n = 4 \end{cases}$$

$$P_{дЕ} = 9.949 \times 10^5 \text{ Па}$$

Допускаемое давление из условия прочности:

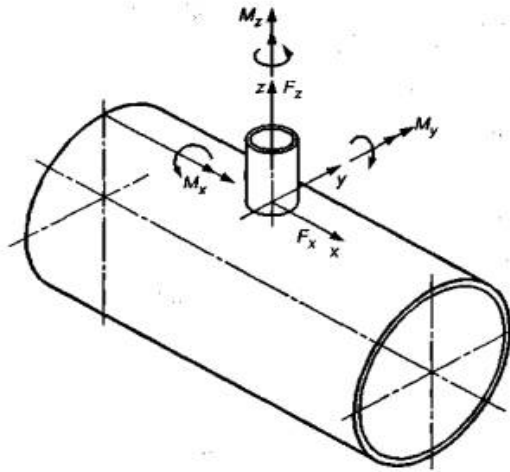
$$P_{дП} := \begin{cases} \frac{2 \cdot \sigma_{д} \cdot (s - c)}{D_p + (s - c)} & \text{if } n = 1 \\ \frac{2 \cdot \sigma_{д} \cdot (s - c)}{D_p + 0.5(s - c)} & \text{if } n = 2 \\ \frac{2 \cdot \sigma_{д} \cdot (s - c)}{\left(\frac{D_p}{\cos(\alpha)} \right) + (s - c)} & \text{if } n = 3 \\ \frac{2 \cdot \sigma_{д} \cdot (s - c)}{\frac{D_p}{2} + 0.5(s - c)} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$P_{дП} = 1.049 \times 10^6 \text{ Па}$$

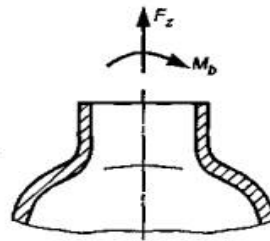
.Допускаемое наружное давление:

$$P_{дН} := \frac{P_{дП}}{\sqrt{1 + \left(\frac{P_{дП}}{P_{дЕ}} \right)^2}} \quad (301)$$

$$P_{дН} = 7.218 \times 10^5 \text{ Па}$$



а - цилиндрическая обечайка при внешних статических нагрузках на штуцер



б - сферическое днище при внешних статических нагрузках на штуцер

Рисунок 12 - Расчет на прочность оболочек при внешних статических нагрузках на штуцер.

Выберите тип оболочки:

$n = 1$

```

Тип :=
  "цилиндрическая оболочка" if n = 1
  "эллиптическая оболочка"  if n = 2
  "коническая оболочка"    if n = 3
  "сферическая оболочка"   otherwise

```

Тип = "цилиндрическая оболочка"

Определение эквивалентной толщины стенки обечайки около штуцера:

$$s_э := \begin{cases} s & \text{if } d_0 \geq d_p \\ s + s_2 \cdot \chi_3 & \text{if } \begin{cases} d_0 < d_p \\ l_3 \geq \sqrt{R_c \cdot (s + s_2)} \end{cases} \\ \left[s + \min \left[s_2 \cdot \frac{1}{\sqrt{D_c \cdot (s + s_2)}}, s_2 \right] \cdot \chi_3 \right] & \text{if } \begin{cases} d_0 < d_p \\ l_3 < \sqrt{R_c \cdot (s + s_2)} \end{cases} \end{cases}$$

$$s_э = 34 \text{ мм}$$

Тип = "цилиндрическая оболочка"

Условия применения расчетных формул:

Расчетные формулы применимы

$$\lambda_c := \frac{d_c}{\sqrt{D_c \cdot s_э}} = 0.588 \quad (302)$$

$$\lambda_{c1} := \frac{d_c}{\sqrt{R_c \cdot s_э}} = 1.715 \quad (303)$$

$$\text{Прим} := \begin{cases} \text{Прим} \leftarrow \text{"Расчетные формулы применимы"} & \text{if } \begin{cases} 0.001 \leq \frac{s}{D_c} \leq 0.1 \\ \lambda_c \leq 10 \\ n = 1 \end{cases} \\ \text{Прим} \leftarrow \text{"Расчетные формулы применимы"} & \text{if } \begin{cases} 0.001 \leq \frac{s}{R_c} \leq 0.1 \\ \lambda_{c1} \leq 10 \\ n = 2 \end{cases} \\ \text{Прим} \leftarrow \text{"Расчетные формулы применимы"} & \text{if } \begin{cases} 0.001 \leq \frac{s}{D_c} \leq 0.1 \\ \lambda_c \leq 10 \\ n = 3 \end{cases} \\ \text{Прим} \leftarrow \text{"Расчетные формулы применимы"} & \text{if } \begin{cases} 0.001 \leq \frac{s}{R_c} \leq 0.1 \\ \lambda_{c1} \leq 10 \\ n = 4 \end{cases} \\ \text{"Условия применения формул НЕ выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Тип = "цилиндрическая оболочка"

Прим = "Расчетные формулы применимы "

Допустимое осевое усилие на штуцер при наличии накладного кольца:

Вспомогательные параметры:

$$a0 := 0.6007218$$

$$a3 := -0.00140638$$

$$a1 := 0.9519625$$

$$a4 := 0$$

$$a2 := 0.005195788$$

$$s_{\text{э1}} := s - c$$

$$\lambda c1 := \frac{dc}{\sqrt{Dc \cdot s_{\text{э1}}}} = 0.832 \quad (304)$$

$$C1 := a0 + a1 \cdot \lambda c1 + a2 \cdot \lambda c1^2 + a3 \cdot \lambda c1^3 + a4 \cdot \lambda c1^4 \quad (305)$$

$$C1 = 1.395$$

Для днищ:

$$K_4 := \min \left[\frac{2 \cdot \sigma_{\text{д1}} \cdot (s_1 - c)}{\sigma_{\text{д}} \cdot s_{\text{э1}}} \cdot \sqrt{\frac{s_1 - c}{dc}}, 1 \right] \quad (306)$$

$$K_4 = 0.583$$

$$\lambda c2 := \frac{dc}{\sqrt{Rc \cdot s_{\text{э1}}}} = 2.425 \quad (307)$$

Допускаемое осевое усилие из условия прочности в месте пересечения штуцера с обечайкой:

$$Fz1 := \begin{cases} \sigma_{\text{д}} \cdot (s + \chi_3 \cdot s_2 - c)^2 \cdot \max(C1, 1.81) & \text{if } n = 1 \\ \sigma_{\text{д}} \cdot (s + \chi_3 \cdot s_2 - c)^2 \cdot \left(1.82 + 2.4 \cdot \sqrt{1 + K_4} \cdot \lambda c2 + 0.91 \cdot K_4 \cdot \lambda c2^2 \right) & \text{if } n = 2 \\ \sigma_{\text{д}} \cdot (s + \chi_3 \cdot s_2 - c)^2 \cdot \max(C1, 1.81) & \text{if } n = 3 \\ \sigma_{\text{д}} \cdot (s + \chi_3 \cdot s_2 - c)^2 \cdot \left(1.82 + 2.4 \cdot \sqrt{1 + K_4} \cdot \lambda c2 + 0.91 \cdot K_4 \cdot \lambda c2^2 \right) & \text{if } n = 4 \end{cases}$$

$$Fz1 = 1.834 \times 10^{11} \text{ Н}$$

Допускаемое осевое усилие из условия прочности у внешней кромки накладного кольца при :

$$\frac{s_1}{s_3} \geq 0.4$$

$$Fz2 := \begin{cases} \sigma_D \cdot (s - c)^2 \cdot \max(C1, 1.81) & \text{if } n = 1 \\ \sigma_D \cdot (s - c)^2 \cdot \left(1.82 + 2.4 \cdot \sqrt{1 + K_4} \cdot \lambda c^2 + 0.91 \cdot K_4 \cdot \lambda c^2 \right) & \text{if } n = 2 \\ \sigma_D \cdot (s - c)^2 \cdot \max(C1, 1.81) & \text{if } n = 3 \\ \sigma_D \cdot (s - c)^2 \cdot \left(1.82 + 2.4 \cdot \sqrt{1 + K_4} \cdot \lambda c^2 + 0.91 \cdot K_4 \cdot \lambda c^2 \right) & \text{if } n = 4 \end{cases}$$

$$Fz2 = 5.514 \times 10^{10} \text{ Н}$$

Допустимое осевое усилие на штуцер при наличии накладного кольца:

$$Fz := \begin{cases} \min(Fz1, Fz2) & \text{if } d_0 < d_p \\ \sigma_D \cdot (s - c)^2 \cdot \max(C1, 1.81) & \text{if } \begin{cases} d_0 \geq d_p \\ n = 1 \end{cases} \\ \sigma_D \cdot (s - c)^2 \cdot \left(1.82 + 2.4 \cdot \sqrt{1 + K_4} \cdot \lambda c^2 + 0.91 \cdot K_4 \cdot \lambda c^2 \right) & \text{if } \begin{cases} d_0 \geq d_p \\ n = 2 \end{cases} \\ \sigma_D \cdot (s - c)^2 \cdot \max(C1, 1.81) & \text{if } \begin{cases} d_0 \geq d_p \\ n = 3 \end{cases} \\ \sigma_D \cdot (s - c)^2 \cdot \left(1.82 + 2.4 \cdot \sqrt{1 + K_4} \cdot \lambda c^2 + 0.91 \cdot K_4 \cdot \lambda c^2 \right) & \text{if } \begin{cases} d_0 \geq d_p \\ n = 4 \end{cases} \end{cases}$$

Тип = "цилиндрическая оболочка"

$$Fz = 5.514 \times 10^{10} \text{ Н}$$

Допускаемый изгибающий момент, действующий на штуцер в плоскости перпендикулярной к оси сосуда:

$$a01 := 4.5263$$

$$a31 := -0.02141925$$

$$a11 := 0.06402188$$

$$a41 := 0.00103504$$

$$a21 := 0.1588763$$

$$C2 := a01 + a11 \cdot \lambda c1 + a21 \cdot \lambda c1^2 + a31 \cdot \lambda c1^3 + a41 \cdot \lambda c1^4 \quad (308)$$

$$C2 = 4.678$$

Допускаемый изгибающий момент из условия прочности в месте пересечения штуцера с обечайкой: (для обечаек)

$$M_{x1} := \left[\sigma_D \cdot (s + \chi_3 \cdot s_2 - c)^2 \cdot \frac{dc}{4} \cdot \max(C2, \sqrt{4.9}) \right] \quad (309)$$

$$M_{x1} = 2.369 \times 10^{13} \text{ Н}\cdot\text{мм}$$

Допускаемый изгибающий момент из условия прочности у внешней кромки накладного кольца при :

$$\frac{s_1}{s_3} \geq 0.5$$

$$M_{x2} := \left[\sigma_D \cdot (s - c)^2 \cdot \frac{dc}{4} \cdot \max(C2, 4.9) \right] \quad (310)$$

$$M_{x2} = 7.464 \times 10^{12} \text{ Н}\cdot\text{мм}$$

Допускаемый изгибающий момент, действующий на штуцер в плоскости перпендикулярной к оси сосуда:

$$M_x := \begin{cases} \min(M_{x1}, M_{x2}) & \text{if } d_0 < d_p \\ \sigma_D \cdot (s - c)^2 \cdot \frac{dc}{4} \cdot \max(C2, 4.9) & \text{if } d_0 \geq d_p \end{cases}$$

$$M_x = 7.464 \times 10^{12} \text{ Н}\cdot\text{мм}$$

Допускаемый изгибающий момент, действующий на штуцер в плоскости совпадающий с осью сосуда:

$$a_{02} := 6.317807$$

$$a_{32} := -0.8309483$$

$$a_{12} := -3.661820$$

$$a_{42} := 0.05069849$$

$$a_{22} := 4.514539$$

$$C_3 := a_{02} + a_{12} \cdot \lambda c_1 + a_{22} \cdot \lambda c_1^2 + a_{32} \cdot \lambda c_1^3 + a_{42} \cdot \lambda c_1^4 \quad (311)$$

$$C_3 = 5.942$$

Допускаемый изгибающий момент из условия прочности в месте пересечения штуцера с обечайкой:

Допускаемый изгибающий момент:

$$M_{y1} := \sigma_D \cdot (s + \chi_3 \cdot s_2 - c)^2 \cdot \frac{dc}{4} \cdot \max(C3, 4.9) = 3.009 \times 10^{13} \text{ Н}\cdot\text{мм} \quad (312)$$

Допускаемый изгибающий момент из условия прочности у внешней кромки накладного кольца при:

$$\frac{s_1}{s_2} \geq 0.5$$

$$M_{y2} := \sigma_D \cdot (s - c)^2 \cdot \frac{dc}{4} \cdot \max(C3, 4.9) = 9.05 \times 10^{12} \text{ Н}\cdot\text{мм} \quad (313)$$

Допускаемый изгибающий момент, действующий на штуцер в плоскости, совпадающий с осью сосуда:

$$M_y := \begin{cases} \sigma_D \cdot (s - c)^2 \cdot \frac{dc}{4} \cdot \max(C3, 4.9) & \text{if } d_0 \geq d_p \\ \min(M_{y1}, M_{y2}) & \text{if } d_0 < d_p \end{cases}$$

$$M_y = 9.05 \times 10^{12} \text{ Н}\cdot\text{мм}$$

$$M_{bH} := \sigma_D \cdot (s + \chi_3 \cdot s_2 - c)^2 \cdot \frac{dc}{4} \cdot \left(4.9 + 2 \cdot \sqrt{1 + K_4} \cdot \lambda c^2 + 0.91 \cdot K_4 \cdot \lambda c^2 \right) \quad (314)$$

$$M_{bH} = 7.154 \times 10^{13} \text{ Н}\cdot\text{мм}$$

С наличием кольца жесткости:

$$M_{b1} := \sigma_D \cdot (s + \chi_3 \cdot s_2 - c)^2 \cdot \frac{dc}{4} \cdot \left(4.9 + 2 \cdot \sqrt{1 + K_4} \cdot \lambda c^2 + 0.91 \cdot K_4 \cdot \lambda c^2 \right) \quad (315)$$

$$M_{b1} = 7.154 \times 10^{13} \text{ Н}\cdot\text{мм}$$

$$M_{b2} := \sigma_D \cdot (s - c)^2 \cdot \left(4.9 + 2 \cdot \sqrt{1 + K_4} \cdot \lambda c^2 + 0.91 \cdot K_4 \cdot \lambda c^2 \right) \quad (316)$$

$$M_{b2} = 4.303 \times 10^{11} \text{ Н}\cdot\text{мм}$$

$$M_b := \min(M_{b1}, M_{b2}) \quad (317)$$

$$M_b = 4.303 \times 10^{11} \text{ Н}\cdot\text{мм}$$

Совместное действие нагрузок:

Проверка выполнение условий прочности для каждой нагрузки в отдельности:

Наружное давление

$$P_H = 1 \times 10^5 \text{ Па}$$

$$F_Z := 8000 - \text{осевая сила, действующая на штуцер, Н}$$

$M_x := 100000$ - изгибающий момент, действующий на штуцер, Н•мм;

$M_y := 160000$ - крутящий момент, действующий на штуцер, Н•мм;

$M_b := 120000$ - изгибающий момент, действующий на штуцер, Н•мм;

$$\Phi_r := \left| \frac{P_H}{P_{дП}} \right| \quad (318)$$

$$\Phi_z := \left| \frac{F_z}{F_z} \right| \quad (319)$$

$$\Phi_b := \begin{cases} \sqrt{\left(\frac{M_x}{M_x}\right)^2 + \left(\frac{M_y}{M_y}\right)^2} & \text{if } n = 1 \\ \sqrt{\left(\frac{M_b}{M_b}\right)^2} & \text{if } n = 2 \\ \sqrt{\left(\frac{M_x}{M_x}\right)^2 + \left(\frac{M_y}{M_y}\right)^2} & \text{if } n = 3 \\ \sqrt{\left(\frac{M_b}{M_b}\right)^2} & \text{if } n = 4 \end{cases}$$

Тип = "цилиндрическая оболочка"

$$\text{Усл1} := \begin{cases} \text{"Условия выполняются"} & \text{if } \begin{cases} \Phi_r \leq 1 \\ \Phi_z \leq 1 \\ \Phi_b \leq 1 \end{cases} \\ \text{"Условия не выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Усл1 = "Условия выполняются"

Проверка выполнение условий прочности при совместном действии нагрузок:

Вид условий:

Усл2 = 1 Нагрузка с учетом стесненности температурных деформаций

Усл2 = 1

$$C4 := \begin{cases} 1.1 & \text{if } \text{Усл2} = 1 \\ 1 & \text{otherwise} \end{cases}$$

C4 = 1.1

Усл3 = 1 Осевая нагрузка, направлена наружу от стенки

$$\text{Усл3} = 1$$

$$\Phi_{z1} := \begin{cases} \Phi_z & \text{if Усл3} = 1 \\ \Phi_z \cdot -1 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\Phi_{z1} = 1.451 \times 10^{-7}$$

$$\text{Усл4} := \begin{cases} \text{"Условия выполняются"} & \text{if } n = 1 \\ & \sqrt{\left(\max\left(\left| \frac{\Phi_p}{C4} + \Phi_{z1} \right|, |\Phi_{z1}|, \frac{\Phi_p}{C4} - 0.2 \cdot \Phi_{z1} \right) \right)^2 + \Phi_b^2} \leq 1 \\ \text{"Условия выполняются"} & \text{if } n = 2 \\ & \max(|\Phi_p + \Phi_z|, |\Phi_z|, |\Phi_p - 0.2 \cdot \Phi_z|, |\Phi_b|) \\ \text{"Условия выполняются"} & \text{if } n = 3 \\ & \sqrt{\left(\max\left(\left| \frac{\Phi_p}{C4} + \Phi_{z1} \right|, |\Phi_{z1}|, \frac{\Phi_p}{C4} - 0.2 \cdot \Phi_{z1} \right) \right)^2 + \Phi_b^2} \leq 1 \\ \text{"Условия выполняются"} & \text{if } n = 4 \\ & \max(|\Phi_p + \Phi_z|, |\Phi_z|, |\Phi_p - 0.2 \cdot \Phi_z|, |\Phi_b|) \\ \text{"Условия не выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{Усл4} = \text{"Условия выполняются"}$$

Проверка прочности штуцера:

Усл5 = 2 осевая сила, действующая на штуцер, создает растягивающее напряжение

$$\underline{F_z} := \begin{cases} 0 & \text{if Усл5} = 1 \\ F_z & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$F_z = 5.514 \times 10^{10} \text{ Н}$$

| | | | |
|---------|--|-------|--|
| Услб := | "Условия применения формул выполняются" if | n = 1 | $\frac{P_H \cdot (d + s_1)}{4 \cdot (s_1 - c)} + \frac{4 \cdot \sqrt{M_x^2 + M_y^2}}{\pi \cdot (d + s_1)^2 \cdot (s_1 - c)} + \frac{F_z}{\pi \cdot (d + s_1) \cdot (s_1 - c)}$ |
| | "Условия применения формул выполняются" if | n = 2 | $\frac{P_H \cdot (d + s_1)}{4 \cdot (s_1 - c)} + \frac{4 \cdot M_b}{\pi \cdot (d + s_1)^2 \cdot (s_1 - c)} + \frac{F_z}{\pi \cdot (d + s_1) \cdot (s_1 - c)}$ |
| | "Условия применения формул выполняются" if | n = 3 | $\frac{P_H \cdot (d + s_1)}{4 \cdot (s_1 - c)} + \frac{4 \cdot \sqrt{M_x^2 + M_y^2}}{\pi \cdot (d + s_1)^2 \cdot (s_1 - c)} + \frac{F_z}{\pi \cdot (d + s_1) \cdot (s_1 - c)}$ |
| | "Условия применения формул выполняются" if | n = 4 | $\frac{P_H \cdot (d + s_1)}{4 \cdot (s_1 - c)} + \frac{4 \cdot M_b}{\pi \cdot (d + s_1)^2 \cdot (s_1 - c)} + \frac{F_z}{\pi \cdot (d + s_1) \cdot (s_1 - c)}$ |
| | "Условия применения формул НЕ выполняются" otherwise | | |

Услб = "Условия применения формул выполняются"

Расчет на устойчивость:

Допускаемое осевое сжимающее усилие из условия прочности вычисляются по формуле:

$$F_{\Pi} := \pi \cdot (D + s - c) \cdot (s - c) \cdot \sigma_{\text{д}} \quad (320)$$

Допускаемое осевое сжимающее усилие из условия местной устойчивости вычисляются по формуле:

$$n_{\text{уст}} := 2.4$$

$$F_{e1} := \frac{310 \cdot 10^{-6} \cdot E_1}{n_y} \cdot D^2 \cdot \left[\frac{100 \cdot (s - c)}{D} \right]^{2.5} \quad (321)$$

$$F_{e1} = 5.042 \times 10^{13} \text{ Н}$$

Допускаемое осевое сжимающее усилие:

$$F_{\text{доп}} := \frac{F_{\Pi}}{\sqrt{1 + \left(\frac{F_{\Pi}}{F_{e1}} \right)^2}} \quad (322)$$

$$F_{\text{доп}} = 1.797 \times 10^{13} \text{ Н}$$

Расчет допускаемого изгибающего момента:

Допускаемый изгибающий момент из условия прочности вычисляют по формуле:

$$M_{\Pi} := \frac{\pi}{4} \cdot D \cdot (D + s - c) \cdot (s - c) \cdot \sigma_{\text{д}} \quad (323)$$

$$M_{\Pi} = 1.635 \times 10^{16} \text{ Н}\cdot\text{мм}$$

Допускаемый изгибающий момент из условия местной устойчивости:

$$M_{\text{е}} := \frac{89 \cdot 10^{-6} \cdot E_1}{n_y} \cdot D^3 \cdot \left[\frac{100 \cdot (s - c)}{D} \right]^{2.5} \quad (324)$$

$$M_{\text{е}} = 4.921 \times 10^{16} \text{ Н}\cdot\text{мм}$$

Допускаемый изгибающий момент:

$$M_{\text{доп}} := \frac{M_{\Pi}}{\sqrt{1 + \left(\frac{M_{\Pi}}{M_{\text{е}}} \right)^2}} \quad (325)$$

$$M_{\text{доп}} = 1.552 \times 10^{16} \text{ Н}\cdot\text{мм}$$

Вид условий:

Усл7 = 1 Если растягивающее усилие

$$\text{Усл7} = 1$$

$$F_Z := \begin{cases} 0 & \text{if Усл7} = 1 \\ F_Z & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$P_H := \begin{cases} 0 & \text{if Усл7} = 1 \\ P_H & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$F_Z = 0 \text{ Н}$$

$P_H = 0$

Усл8 := "Условия применения формул выполняются" if $n = 1$
 $\frac{P_H}{P_{дП}} + \frac{Fz}{F_{доп}} + \frac{\sqrt{M_x^2 + M_y^2}}{M_{доп}} \leq 1$

"Условия применения формул выполняются" if $n = 1$
 $\frac{Fz}{F_{доп}} + \frac{Mb}{M_{доп}} \leq 1$

"Условия применения формул выполняются" if $n = 1$
 $\frac{P_H}{P_{дП}} + \frac{Fz}{F_{доп}} + \frac{\sqrt{M_x^2 + M_y^2}}{M_{доп}} \leq 1$

"Условия применения формул выполняются" if $n = 1$
 $\frac{Fz}{F_{доп}} + \frac{Mb}{M_{доп}} \leq 1$

"Условия применения формул НЕ выполняются" otherwise

Усл8 = "Условия применения формул выполняются"

4.3.5 Расчет фланцевого соединения

В данном разделе произведем механический расчет фланцевого соединения (см. рисунок 10 поз.№5), который сводится к определению следующих критериев надежности: обеспечению герметичности, обеспечению прочности втулки фланца, обеспечению прочности болтов, что и является целью данного расчета.

Расчет произведем по методике, изложенной в пособии [18].

В качестве примера произведем расчет фланца для патрубка выхода конденсата:

Диаметр штуцера:

$$d_{ш} := 0.03 \text{ м}$$

Допускаемое напряжение для материала болтов 12X18H10T:

$$\sigma_b := 110 \text{ МПа}$$

Диаметр болтов фланцевого соединения:

$$d_b := 0.01 \text{ м}$$

Модуль упругости фланца:

$$E := 2 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

нормативный зазор между втулкой и гайкой в соответствии с рекомендациями:

$$u := 0.00:$$

Решение:

Толщина втулки плоских приварных фланцев:

$$c := 0.00 \text{ м}$$

$$s_0 \geq s$$

Примем

$$s_0 := 0.00 \text{ м}$$

Высота втулки:

$$h_b := 0.5 \cdot \sqrt{d_p \cdot (s_0 - c)} = 4 \times 10^{-3} \quad (326)$$

Примем значение высоты втулки:

$$h_{\text{вт}} := 0.05 \text{ м}$$

Диаметр болтовой окружности плоских приварных фланцев:

$$D_b := d_p + 2(2 \cdot s_0 + d_b + u) = 0.074 \text{ м} \quad (327)$$

Примем:

$$D_b := 0.074 \text{ м}$$

Наружный диаметр фланца:

Конструктивную добавку для размещения шестигранных гаек (обычных) по диаметру фланца примем по табл.1.41 [18]:

$$a := 0.02 \text{ м}$$

Диаметр отверстия под болт:

$$d := 0.014 \text{ м}$$

Наружный диаметр фланца:

$$D_n := D_b + a = 0.1 \text{ м}$$

Примем

$$D_n := 0.1 \text{ м}$$

Наружный диаметр прокладки при нормативном параметре, зависящем от типа прокладки:

$$e := 0.05 \text{ м, так как выбираем плоскую прокладку по табл. 1.41 [18]}$$

$$D_{\text{нр}} := D_b - e = 0.055 \text{ м} \quad (329)$$

Средний диаметр прокладки:

ширина прокладки плоской, неметаллической по табл.1.42 [18].

$$b := 0.014 \text{ м}$$

$$D_{\text{сн}} := D_{\text{нр}} - b = 0.043 \text{ м} \quad (330)$$

Количество болтов, необходимое для обеспечения герметичности соединения:

Шаг расположения болтов

$$t_{\text{ш}} := 4 \cdot d_b = 0.04 \text{ м} \quad (331)$$

$$n_b := \frac{\pi \cdot D_b}{t_{sh}} = 5.89 \quad (332)$$

Применяем

$$n_b := 8 \text{ шт}$$

Высота(толщина) фланца ориентировочно:

По рисунку 1.40 [18] определяем коэффициент:

$$\lambda_f := 0.21$$

Эквивалентная толщина втулки:

$$\frac{d_p}{s_0} = 10.667 \quad (333)$$

$$\beta_1 := 1.5 \text{ по рисунку 1.39 [18].}$$

$$s_{ek} := s_0 \cdot \left[1 + \frac{h_b \cdot (\beta_1 - 1)}{h_b + 0.25 \cdot (\beta_1 + 1) \cdot \sqrt{d_p \cdot s_0}} \right] = 4.336 \times 10^{-3} \text{ м} \quad (334)$$

$$h_f \geq \lambda_f \cdot \sqrt{d_p \cdot s_{ek}} \quad (335)$$

$$\lambda_f \cdot \sqrt{d_p \cdot s_{ek}} = 2.474 \times 10^{-3} \quad (336)$$

Примем

$$h_f := 0.01 \text{ м}$$

Болтовая нагрузка, необходимая для обеспечения герметичности.

Расчет сводится к определению нагрузок для двух различных состояний: при монтаже и в рабочих условиях.

Болтовая нагрузка в условиях монтажа.

Равнодействующая внутреннего давления

$$F_d := p \cdot \pi \cdot \frac{D_{sn}^2}{4} = 1.162 \times 10^{-3} \text{ МН} \quad (337)$$

Выберем прокладку из паронита толщиной 1 мм, для нее:

$$k_{pr} := 2.5$$

Толщина прокладки:

$$h_{pr} := 0.001 \text{ м}$$

$$p_{pr} := 20 \text{ МПа}$$

Минимальное давление обжатия:

Допускаемое давление обжатия прокладки:

$$p_{dpr} := 130 \text{ МПа}$$

Модуль упругости фторопласта:

$$E_{pr} := 2000 \text{ МПа}$$

Эффективная ширина прокладки:

$$b_0 := b = 0.012 \text{ м}$$

Реакция прокладки:

$$R_p := \pi \cdot D_{sn} \cdot b_0 \cdot k_{pr} \cdot p = 3.242 \times 10^{-3} \text{ МН} \quad (338)$$

Расчетная площадь поперечного сечения болта принимается:

$$f_b := 1.35 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$$

Линейная податливость прокладки при:

$$k_p := 1 \frac{\text{М}}{\text{МН}}$$

$$y_p := \frac{k_p \cdot h_{pr}}{E_{pr} \cdot \pi \cdot D_{sn} \cdot b} = 3.084 \times 10^{-4} \quad (339)$$

Угловая податливость фланца:

$$E := 2.15 \cdot 10^5$$

МПа, модуль продольной упругости материала фланца

безразмерные параметры

$$\lambda_{fk} := \frac{h_f}{\sqrt{d_p \cdot s_{ek}}} = 0.849 \quad (340)$$

$$\psi_1 := 1.28 \cdot \log\left(\frac{D_n}{d_p}\right) = 0.633 \quad (341)$$

$$\psi_2 := \frac{D_n + d_p}{D_n - d_p} = 1.941 \quad (342)$$

$$v := \frac{1}{1 + 0.9\lambda_f \cdot \left(1 + \psi_1 \cdot \frac{h_f^2}{s_{ek}^2}\right)} = 0.231 \quad (343)$$

$$y_f := \frac{\left[1 - v \cdot (1 + 0.9\lambda_f)\right] \cdot \psi_2}{h_f^3 \cdot E} = 5.357 \frac{\text{М}}{\text{МН}} \quad (344)$$

Расстояние между опорными поверхностями головки болта и гайки:

примем конструктивно

$$l_{ob} := 0.04 \cdot m$$

Расчетная длина болта:

$$l_b := l_{ob} + 0.28 \cdot d = 0.046 \text{ м} \quad (345)$$

Линейная податливость болтов:

$$y_b := \frac{l_b}{E \cdot f_b \cdot n_b} = 1.978 \times 10^{-4} \frac{\text{М}}{\text{МН}} \quad (346)$$

Коэффициент жесткости фланцевого соединения:

$$k_{zh} := \frac{y_b + 0.5 \cdot y_f \cdot (D_b - d_p - s_{ek}) \cdot (D_b - D_{sn})}{y_p + y_b + 0.5 \cdot y_f \cdot (D_b - D_{sn})^2} = 1.081 \quad (347)$$

Болтовая нагрузка в условиях монтажа:

$$\sigma_{b20} := 130 \text{ МПа}$$

Осевое растягивающее усилие:

$$F_1 := 0.25 \cdot \pi \cdot (d_p + 2 \cdot s \cdot 10^{-6}) \cdot p = 0.02 \text{ МН} \quad (348)$$

$$F_{b1} := \max \left[\begin{array}{l} k_{zh} \cdot (F_d - F_1) + R_p \\ 0.5 \cdot \pi \cdot D_{sn} \cdot b_0 \cdot p_{pr} \\ 0.4 \cdot \sigma_{b20} \cdot n_b \cdot f_b \end{array} \right] = 0.056 \text{ МН} \quad (349)$$

Болтовая нагрузка в рабочих условиях

Коэффициент линейного расширения материала болтов и фланцев 12Х18Н10Т:

$$\alpha := 16.6 \cdot 10^{-6} \frac{1}{\text{С}^0}$$

$$t_T := 80 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Усилие, возникающее от температурных деформаций:

$$F_t := \frac{y_b n_b \cdot f_b \cdot E \cdot (\alpha \cdot t_T - \alpha \cdot 0.97 \cdot t_T)}{y_p + y_b + 0.5 \cdot y_T \cdot (D_b - D_{sn})^2} = 5.631 \times 10^{-4} \text{ МН} \quad (350)$$

$$F_{b2} := F_{b1} + (1 - k_{zh}) \cdot (F_d - F_1) + F_t = 0.058 \text{ МН} \quad (351)$$

Условия прочности болтов

$$\frac{F_{b1}}{n_b \cdot f_b} = 52 \text{ МПа} \quad (352)$$

$$Us_1 := \begin{cases} \text{"Условие прочности выполняется"} & \text{if } \frac{F_{b1}}{n_b \cdot f_b} \leq \sigma_{b20} \\ \text{"Условия прочности НЕ выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\sigma_{b20} = 130 \text{ МПа}$$

$$Us_1 = \text{"Условие прочности выполняется"}$$

$$Us_2 := \begin{cases} \text{"Условие прочности выполняется"} & \text{if } \frac{F_{b2}}{n_b \cdot f_b} \leq \sigma_b \\ \text{"Условия прочности НЕ выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\frac{F_{b2}}{n_b \cdot f_b} = 53.942 \text{ МПа} \quad (353)$$

$$\sigma_b = 110 \text{ МПа}$$

$$Us_2 = \text{"Условие прочности выполняется"}$$

Условие прочности неметаллических прокладок:

$$\frac{F_{b1}}{\pi \cdot D_{sn} \cdot b} = 34.644 \text{ МПа} \quad (354)$$

$$Us_3 := \begin{cases} \text{"Условие прочности выполняется"} & \text{if } \frac{F_{b1}}{\pi \cdot D_{sn} \cdot b} \leq p_{dpr} \\ \text{"Условия прочности НЕ выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$p_{dpr} = 130 \text{ МПа}$$

$$Us_3 = \text{"Условие прочности выполняется"}$$

Условие прочности втулки фланца для сечения, ограниченного размером S0:

безразмерный параметр

$$T_f := \frac{D_n^2 \cdot \left(1 + 8.55 \cdot \log \left(\frac{D_n}{d_p} \right) \right) - d_p^2}{\left(1.05 \cdot d_p^2 + 1.945 D_n^2 \right) \cdot \left(\frac{D_n}{d_p} - 1 \right)} = 1.176 \quad (355)$$

Безразмерный параметр по рисунку 1.42 [18].

$$b_{\lambda_{1.1}} := \frac{h_b}{\sqrt{d_p \cdot s_0}} = 5.103 \quad (356)$$

$$f_f := 1$$

Приведенный изгибающий момент: (357)

$$M_0 := \max \left[0.1 \cdot (D_b - D_{sn}) \cdot F_{b1}, 0.1 \cdot \left[(D_b - D_{sn}) \cdot F_{b2} + (D_{sn} - d_p - s_{ek}) \cdot F_d \right] \right] = 1.872 \times 10^{-4}$$

$$\sigma_1 := T_f \cdot M_0 \cdot \frac{v}{d_p \cdot \left(\frac{s}{1000} - c \right)^2} = 4.393 \text{ МПа} \quad (358)$$

Максимальное напряжение в сечении, ограниченном размером S0:

$$\sigma_0 := f_f \cdot \sigma_1 = 4.393 \text{ МПа} \quad (359)$$

Тангенциальное и меридиональное напряжения во втулке фланца от внутреннего давления:

$$\sigma_t := \frac{p_{pr} \cdot d_p}{2 \cdot (s_0 - c)} = 160 \text{ МПа} \quad (360)$$

$$\sigma_m := \frac{p_{pr} \cdot d_p}{4 \cdot (s_0 - c)} = 80 \text{ МПа} \quad (361)$$

Допускаемое напряжение для фланца в сечении S0, принимаемое при количестве нагружений соединения (сборка-разборка) при $P_r < 4 \text{ МПа}$:

$$\sigma_{d0} := 0.003 E = 600 \text{ МПа} \quad (362)$$

Тогда условие прочности втулки фланца:

$$Us_4 := \begin{cases} \text{"Условие прочности выполняется"} & \text{if } \sqrt{(\sigma_0 + \sigma_m)^2 + \sigma_t^2} - (\sigma_0 + \sigma_m) \cdot \sigma_t < \phi \cdot \sigma_{d0} \\ \text{"Условия прочности НЕ выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$Us_4 = \text{"Условие прочности выполняется"}$$

$$\sqrt{(\sigma_0 + \sigma_m)^2 + \sigma_t^2} - (\sigma_0 + \sigma_m) \cdot \sigma_t = 138.634 \quad (363)$$

$$\sigma_0 = 4.393 \text{ МПа}$$

Условие герметичности фланцевого соединения определяется углом поворота фланца. Максимальное напряжение в кольце аппарата:

$$\sigma_k := M_0 \cdot [1 - \nu \cdot (1 + 0.9 \lambda_f)] \cdot \frac{\psi_2}{d_p \cdot h_f^2} = 67.376 \text{ МПа} \quad (364)$$

Допускаемый угол поворота фланца для плоских приварных:

$$\Theta_d := 0.01:$$

$$\Theta := \left(\frac{\sigma_k}{E} \right) \cdot \left(\frac{d_p}{h_f} \right) = 1.078 \times 10^{-3} \quad (365)$$

$$Us_5 := \begin{cases} \text{"Условие герметичности выполняется"} & \text{if } \Theta < \Theta_d \\ \text{"Условия прочности НЕ выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$Us_5 = \text{"Условие герметичности выполняется"}$$

Вывод: таким образом, подобранный фланец отвечает всем требованиям прочности. Условия прочности болтов выполняются как в условиях монтажа (действующее напряжение меньше допустимого: 52 МПа < 130 МПа), так и в рабочих условиях (действующее напряжение меньше допустимого: 54 МПа < 130 МПа). Также условие прочности болтов выполняется и для неметаллических прокладок (действующее напряжение меньше допустимого: 34,6 МПа < 130 МПа). Было выполнено условие прочности втулки фланца (действующая нагрузка меньше допустимой: 138,6 МПа < 600 МПа). Также фланцевое соединение было посчитано на герметичность, которая определялась углом поворота фланца (угол поворота фланца в рабочих условиях меньше допустимого угла поворота фланца

0,001078 рад < 0,013 рад). Подобным образом рассчитываются все фланцевые соединения.

4.4 Расчет средств защиты

Произведем расчет пропускной способности СППК 4Р-50-16, тем самым определив, применим ли СППК на отстойнике ОГ-200.

Расчет пропускной способности ППК производится по ГОСТ 12.2.085-82 [21]. Пропускная способность ППК для газообразных сред (в кг/ч) рассчитывается по формуле:

$$G = 3.16 (V_3 \alpha_1 F) \sqrt{(P_1 + 0.1) \rho_1} \quad (366)$$

$P_1 := 0.69$ МПа, максимальное избыточное давление перед ППК

ρ_1 - плотность реального газа перед клапаном при параметрах P_1 и T_1 , кг/м³, рассчитывается по формуле:

$$\rho_1 = \frac{(P_1 + 0.1) \cdot 10^6}{V_4 \cdot R \cdot T_1} \quad (367)$$

$T_1 := 293$ К, температура среды под клапаном

$R := 287 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{С}}$ - газовая постоянная для воздуха, выбирается по таблице А1 [21].

$V_4 := 1$ - коэффициент сжимаемости реального газа для воздуха, выбирается по справочному значению таблицы А2 [21].

$$\rho_1 := \frac{(P_1 + 0.1) \cdot 10^6}{V_4 \cdot R \cdot T_1} = 9.395 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \quad (368)$$

$F := 854.9 \text{ мм}^2$ - площадь сечения клапана, равная наименьшей площади сечения в проточной части, выбирается по паспорту клапана, при отсутствии сведений в паспорте - по каталогам завода-изготовителя

$\alpha_1 := 0.8$ - коэффициент расхода клапана, выбирается по паспорту клапана, при отсутствии сведений в паспорте - по каталогам завода-изготовителя

V_3 - коэффициент, учитывающий физико-химические свойства газа при рабочих параметрах, рассчитывается по формулам:

$$V_3 = 1.59 \cdot \sqrt{\frac{k}{k+1} \cdot \left(\frac{2}{k+1}\right)^{\frac{1}{k-1}}} \quad \text{при } \beta \leq \beta_{кр}, \text{ или} \quad (369)$$

$$V_3 = 1.59 \cdot \sqrt{\frac{k}{k-1}} \cdot \sqrt{\left(\frac{P_2 + 0.1}{P_1 + 0.1}\right)^{\frac{2}{k}} - \left(\frac{P_2 + 0.1}{P_1 + 0.1}\right)^{\frac{k+1}{k}}} \quad \text{при } \beta > \beta_{кр}, \text{ где} \quad (370)$$

$k := 1.4$ -показатель адиабаты, выбирается по таблице А1[21].

β - отношение давлений перед и за предохранительным клапаном, рассчитывается по формуле:

$$\beta = \frac{P_2 + 0.1}{P_1 + 0.1} \quad (371)$$

$P_2 := 0$ МПа, максимальное избыточное давление за предохранительным клапаном

$$\beta := \frac{P_2 + 0.1}{P_1 + 0.1} = 0.127 \quad (372)$$

$\beta_{кр}$ - критическое отношение давлений, рассчитывается по формуле:

$$\beta_{кр} := \left(\frac{2}{k+1}\right)^{\frac{k}{k-1}} = 0.528 \quad (373)$$

$$V_3 := \begin{cases} 1.59 \cdot \sqrt{\frac{k}{k+1} \cdot \left(\frac{2}{k+1}\right)^{\frac{1}{k-1}}} & \text{if } \beta \leq \beta_{кр} \\ 1.59 \cdot \sqrt{\frac{k}{k-1}} \cdot \sqrt{\left(\frac{P_2 + 0.1}{P_1 + 0.1}\right)^{\frac{2}{k}} - \left(\frac{P_2 + 0.1}{P_1 + 0.1}\right)^{\frac{k+1}{k}}} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$V_3 = 0.967$$

Таким образом, пропускная способность предохранительного клапана составляет:

$$\dot{G} := 3.16(B_3 \alpha_1 \cdot F) \sqrt{(P_1 + 0.1) \rho_1} = 5.693 \times 10^3 \frac{\text{кг}}{\text{ч}} \quad (374)$$

Производительность отстойника составляет 60 т/час по жидкости, где 1% от производительности - для газа, что равно 600 кг/час (при плотности воздуха при атмосферном давлении и T=20 С 1,19 кг/м³).

Следовательно, пропускной способности предохранительного клапана достаточно для безопасной эксплуатации сосуда.

4.5 Расчет седлообразных опор

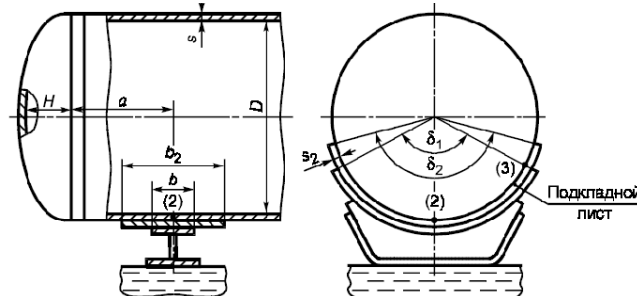


Рисунок 13 - Расчетная схема седловых опор

Проверка применимости расчетных формул:

Угол охвата опорного листа: $\delta_1 = 80^\circ$;

Угол охвата подкладного листа: $\delta_2 = 120^\circ$;

Толщина подкладного листа, мм: $s_2 = 12 \text{ мм}$;

Высота крышки и отбортовки, м: $H_{кр} = 0.95 \text{ м}$;

$$D_{нар} = D_{вн} + 2s_{обечайкидейств} = 3432 \text{ мм}; \quad (375)$$

$$\text{If} = \left[\begin{array}{l} \delta_2 \geq \delta_1 + 20, \text{Print}["\text{Условие выполняется}"], \\ s_2 \geq s_{обечайкидейств}, \text{Print}["\text{Условие не выполняется}"] \end{array} \right]$$

Условие выполняется

Определение расчетных усилий

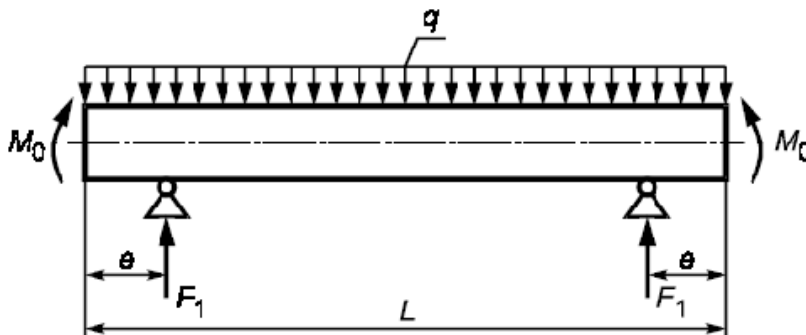


Рисунок 14 - Расчетная схема определения усилий

$$q = \frac{G_{\text{ап}}}{l_{\text{длоб}} + (\text{Нкр}) \frac{4}{3}} = 102676 \text{ Н}; \quad (376)$$

$$M_0 = q \frac{D_{\text{нар}}^2 10^{-6}}{16} = 75586 \text{ Н}; \quad (377)$$

Нагрузка аппарата на одну опору, Н:

$$F_1 = \frac{G_{\text{ап}}}{2} = 1,194 \cdot 10^6 \quad (378)$$

Переводим нагрузку из Н в кН:

$$F_1/1000 = 1194,46 \text{ кН}; \quad (379)$$

Определение изгибающих моментов и поперечных усилий.

Расстояние от края цилиндрической обечайки до центра опоры:

$$e = 0.4;$$

$$a = 1.8;$$

Момент над опорой, Н·м:

$$M_1 = \text{Abs} \left[M_0 - \frac{qe^2}{2} \right] = 67372 \text{ Н} \cdot \text{м}; \quad (380)$$

Максимальный момент между опорами, Н·м:

$$M_{12} = M_0 + F_1 \left(\frac{l_{\text{длоб}}}{2} - a \right) - \frac{q}{2} \left(\frac{l_{\text{длоб}}}{2} + \frac{2}{3}(\text{Нкр}) \right)^2 = 4,116 \cdot 10^6 \text{ Н} \cdot \text{м}; \quad (381)$$

Поперечной усилие в сечении оболочки над опорой, Н·м:

$$Q_1 = \frac{l_{\text{длоб}} - 2a}{l_{\text{длоб}} + \frac{4}{3}(\text{Нкр})} F_1 = 944615 \text{ Н} \cdot \text{м}; \quad (382)$$

Проверка несущей способности обечайки в сечении между опорами:

$$\text{If} = \left[\begin{array}{l} M_{12} \geq M_1, \text{Print}["\text{Условие выполняется}"], \\ M_{12} \leq M_1, \text{Print}["\text{Условие не выполняется}"] \end{array} \right]$$

Условие выполняется

В соответствии с ОСТ 26-2091-93 [22] выбираем подвижную седлообразную опору типа 3 исполнения II для сосудов и аппаратов с диаметром от 2200 до 4000 мм с нагрузкой на одну опору от 900кН до 1400кН.

Геометрические параметры приведены в таблице 2

Таблица 2 - Основные параметры седлообразной опоры

| Диаметр аппарата, D_{BH} | Допускаемая нагрузка на одну опору, кН | S_1 | S_2 | R | L | L_1 | l | l_1 | h | h_1 | A | A_1 | Масса, кг | Масса подкладного листа, кг |
|-------------------------------|--|-------|-------|------|------|-------|------|-------|------|-------|------|-------|---------------|-----------------------------|
| | Исполнение II | | | | | | | | | | | | Исполнение II | |
| 3400 | 1400 | 25 | 25 | 1720 | 2990 | 3010 | 2895 | 1450 | 1030 | 340 | 2390 | 2190 | 570 | 106 |

Так же принимаем размеры опорного листа согласно таблице 3

Таблица 3 - Основные размеры опорного листа

| Диаметр аппарата, D_{BH} | S | R | H | Масса, кг |
|----------------------------|----|------|-----|-----------|
| 3400 | 12 | 1720 | 450 | 169,2 |

5 Результаты исследования

На сегодняшний день расходы по статье отопления составляют наибольшую долю из всех имеющихся коммунальных платежей. В связи с этим стоит отметить, что существует проблема, связанная с экономией расходов по данной статье. Такая проблема существует не только у частных лиц, которые вынуждены отапливать свои жилые помещения, покупая уголь, газ, дрова, электричество, либо врезаться в систему центрального отопления, но и практически у всех предприятий любой отрасли. Все эти примитивные способы отапливания помещений существенно сказываются на бюджете. Стоит также отметить, что применяемые для получения различного рода энергии земные ресурсы являются невозобновимыми, то есть в скором времени они просто кончатся, и человек будет вынужден искать альтернативные способы получения энергии для своих нужд. Исходя из вышеупомянутого, можно сделать вывод о том, что проблема отопления на сегодняшний день является достаточно актуальной как с финансовой точки зрения, так и с экологической.

В данном проекте предлагается решение имеющейся проблемы путем внедрения теплообменной установки, которая известна человеку достаточно давно. Данная установка позволит использовать тепловую энергию недр Земли в целях отопления помещений на объектах УПНиГ. Применение такого альтернативного способа позволит не только сэкономить природные ресурсы, в данном случае электричество, вырабатываемое из этих самых ресурсов, но и существенно сократить расходы по данной статье.

Как уже было отмечено ранее, необходимо находить альтернативные источники получения энергии, так как использование полезных ископаемых, во-первых, приводит к истощению природных ресурсов, во-вторых, негативно сказывается на экологической обстановке на планете и, в-третьих, является достаточно затратным способом с финансовой точки зрения.

В связи с этим, в данном проекте предлагается использовать тепловую энергию земли, а именно, за счет тепла добываемой нами нефти отапливать помещения на объектах УПНиГ. Согласно данным по термометрам, на многих объектах УПНиГ температура нефти достигает порядка 70 °С, а температура подтоварной воды – 60-65 °С. Если на объекте установить теплообменную установку, а в самих помещениях провести водяную систему отопления, и циркуляционную воду нагревать как раз через теплообменную установку подтоварной водой, то можно решить проблему большого энергопотребления на многих объектах УПНиГ. Согласно санитарно-эпидемиологическим правилам и нормам СанПиН 2.1.4.2496-09, температура горячей воды в местах водоразбора независимо от применяемой системы теплоснабжения должна быть не ниже 60°С и не выше 75°С [23]. Ну а что касается температуры циркуляционной воды в системе отопления, то этот момент никак не регламентируется. Максимальная температура теплоносителя согласно СНиП 41-01-2003 "Отопление, вентиляция и кондиционирование" для жилых, общественных и административных зданий должна быть не более 95 градусов для двухтрубных систем, и не более 105 °С для однетрубных систем [24]. Но как показывает практика, температуры батарей в пределах 60 °С будет вполне достаточно, чтобы температура воздуха в помещении соответствовала всем нормам. Тем более, если учесть тот фактор, что расстояние трубопровода от теплообменной установки к системе отопления будет незначительным (в пределах 100 метров), то потери тепла будут несущественными, что также позволит практически все полученное от подтоварной воды тепло перенести в помещение.

Далее приведем расчет на примере Крапивинского месторождения, где предлагаемый способ отапливания помещений уже внедряется.

В операторной для обогрева применяются масляные обогреватели типа Delonghi TRD 0615 и мощностью 1,5 кВт в количестве 9 штук, также

имеется кондиционер на входе в помещение мощностью 2 кВт. В маш.зале имеются 8 электронагревательных приборов с мощностью 2 кВт.

$$N_1 := 9 \text{ шт}$$

$$N_{1k} := 1 \text{ шт}$$

$$N_2 := 8 \text{ шт}$$

$$P_1 := 1.5 \text{ кВт}$$

$$P_{1k} := 2 \text{ кВт}$$

$$P_2 := 2 \text{ кВт}$$

Тариф на электроэнергию в рублях за кВт*ч примем (среднее значение согласно данным за 2018 год):

$$c := 3.3223 \text{ руб}$$

Произведем расчет затрат на электроэнергию за 30 календарных дней.

$$Ц_1 := c \cdot N_1 \cdot P_1 \cdot 24 \cdot 30 + c \cdot N_{1k} \cdot P_{1k} \cdot 24 \cdot 30 = 3.708 \times 10^4 \text{ руб} \quad (383)$$

$$Ц_2 := c \cdot N_2 \cdot P_2 \cdot 24 \cdot 30 = 3.827 \times 10^4 \text{ руб} \quad (384)$$

$$Ц := Ц_1 + Ц_2 = 7.535 \times 10^4 \text{ руб} \quad (385)$$

В году помещения отапливаются примерно 6-8 месяцев. Примем 8 месяцев, поскольку местоположение объекта находится в северных широтах России.

$$Ц_{\text{год}} := 8 \cdot Ц = 6.028 \times 10^5 \text{ руб} \quad (386)$$

Как видно по расчетам, затраты за год, связанные с электрообогревом помещений составляют порядка 600 тыс. рублей.

Согласно мониторингу рынка теплообменников, можно определить, что средняя стоимость данного вида оборудования с перечисленными выше параметрами будет варьироваться в пределах 450 тыс. рублей с учетом доставки (без НДС). Также определенную долю затрат будет составлять монтаж оборудования и линии трубопровода, обустройство места для монтажа. Стоимость строительного-монтажных работ определена из

стоимости монтажа одной тонны оборудования (9000 руб.) множенной на вес оборудования и составляет 10000 рублей. Стоимость данных видов работ включена в общую стоимость теплообменника, которая с учетом доставки составляет 450000 рублей.

Периметр помещений буден равен порядка 65 метров. Для эффективности теплообмена в помещении будет применяться не секционные батареи, а обычные трубы 60х3 мм. В операторной они будут монтироваться в 2 уровня, а в маш.зале в один, так как там нет необходимости поддерживать более высокую температуру. Согласно предложений на рынке труб было установлено, что средняя стоимость 1 тонны такого рода труб будет стоить в пределах 46 тыс. рублей (без НДС) с учетом доставки (13000 руб.). С учетом прокладки труб в помещении, а также прокладки трубопровода от теплообменной установки к помещению, суммарная длина труб составит порядка 250 метров

Средняя стоимость укладки труб системы отопления составляет 140 р/м. Итого общая стоимость укладки труб будет составлять 35000 рублей.

Следует также учесть помещение, где будет монтироваться теплообменник с насосным оборудованием. Рассмотрим затраты на его строительство согласно таблице (без НДС):

Таблица 4 – Расходы на монтаж бокса под теплообменник.

| Параметр | Значение | Ед.измерения |
|--|----------|------------------|
| Основные параметры | | |
| Длина здания | 6 | м. |
| Ширина здания | 5 | м. |
| Высота здания | 6 | м. |
| Нагрузка на пол | 2 | т/м ² |
| Площадь здания | 30 | м ² |
| Периметр здания | 22 | м. |
| Земляные работы и фундамент | | |
| Выборка грунта | 8520 | Руб. |
| Устройство стаканов под стойки каркаса | 17250 | Руб. |

Продолжение таблицы 4

| | | |
|---|--------|------|
| Основание под плиту (песок) | 4230 | Руб. |
| Основание под плиту (щебень) | 9240 | Руб. |
| Устройство бетонного пола | 72000 | Руб. |
| Итого по разделу | 111240 | Руб. |
| Конструкции здания (изготовление и монтаж) | | |
| Металлокаркас | 64200 | Руб. |
| Проф.лист (стены) | 99000 | Руб. |
| Проф. Лист (кровля) | 30600 | Руб. |
| Роллетные ворота | 80000 | Руб. |
| Итого по разделу | 273800 | Руб. |

Насосное оборудование, необходимое для перекачки циркуляционной воды, имеется в наличии. Следовательно, расходы на его приобретение не учитываются.

Посчитаем итоговую сумму затрат и сравним ее с годовой суммой затрат на электроэнергию, необходимую для обогрева помещений.

$$З := 450000 + 40000 + 14000 + 385000 + 40000 = 9.29 \times 10^5 \text{ руб. (387)}$$

$$Ц_{\text{год}} = 6.028 \times 10^5 \text{ руб.}$$

Также стоит предусмотреть текущие расходы на электроэнергию, необходимую для работы насоса. Для работы насоса потребуется 3-5 кВт, так здание одноэтажное, а расстояние прохода теплоносителя по отопительной системе небольшое.

Итак, количество электроэнергии, необходимое на весь отопительный период в году:

$$P_{\text{э}} := 4 \cdot 24 \cdot 30 \cdot 8 = 2.304 \times 10^4 \text{ кВт} \cdot \text{ч} \quad (388)$$

$$C_{\text{год}} := P \cdot c = 7.655 \times 10^4 \text{ руб} \quad (389)$$

$$ЗТ := C_{\text{год}} + 500 + 10000 = 8.705 \times 10^4 \text{ руб} \quad (390)$$

$$З + ЗТ = 1.016 \times 10^6 \text{ руб} \quad (391)$$

Далее сравним, во сколько раз уменьшаются текущие расходы на электроэнергию при внедрении теплообменной установки:

$$\frac{Ц_{\text{год}}}{ЗТ} = 6.925 \quad (392)$$

Конечно, для того чтобы выйти на положительный финансовый результат, необходимо некоторое время. То есть срок окупаемости будет равным:

Первый год:

$$CO_1 := Ц_{\text{год}} - З - ЗТ = -4.132 \times 10^5 \text{ руб} \quad (393)$$

Второй год:

$$CO_2 := Ц_{\text{год}} - |CO_1| - ЗТ = 1.025 \times 10^5 \text{ руб} \quad (394)$$

Как мы видим из расчетов, уже во второй год эксплуатации теплообменной установки, экономия средств составляет порядка 100 тысяч в год. Стоит отметить, что расчеты проводились только по одному объекту, а их, как известно, в компании насчитывается около 10 (имеется в виду по аналогии проблем).

$$\mathcal{E}_2 := CO_2 \cdot 10 = 1.025 \times 10^6 \text{ руб} \quad (395)$$

Уже по второму году эксплуатации теплообменного оборудования, примерная годовая экономия составит порядка 1 млн. рублей

Третий год:

$$CO_3 := Ц_{\text{год}} - ЗТ = 5.158 \times 10^5 \text{ руб} \quad (396)$$

Если учесть, что в компании имеется 10 объектов с такими же проблемами, и их можно решить предложенным выше способом, то на третий год эксплуатации годовая экономия средств составит:

$$\mathcal{E}_3 := CO_3 \cdot 10 = 5.158 \times 10^6 \text{ руб} \quad (397)$$

Далее, ежегодная экономия по одному объекту составит порядка полумиллиона рублей, по 10 объектам пять с лишним миллионов рублей.

Далее, в таблице 4 представлены данные, по которым можно увидеть разницу расходов на электроэнергию до внедрения теплообменной установки, а также после ее внедрения.

Таблица 5 – Сводка потребления электроэнергии до и после внедрения теплообменной установки.

| Статья | Потребление до оптимизации | Потребление после оптимизации | Отношение потребления э/э до и после внедрения |
|-------------------------|----------------------------|-------------------------------|--|
| Электроэнергия, кВт*ч | 169900 | 23040 | 7,875 |
| Тариф, руб/(кВт*ч) | 3,3223 | 3,3223 | |
| Итоговая стоимость, руб | 602800 | 76550 | |

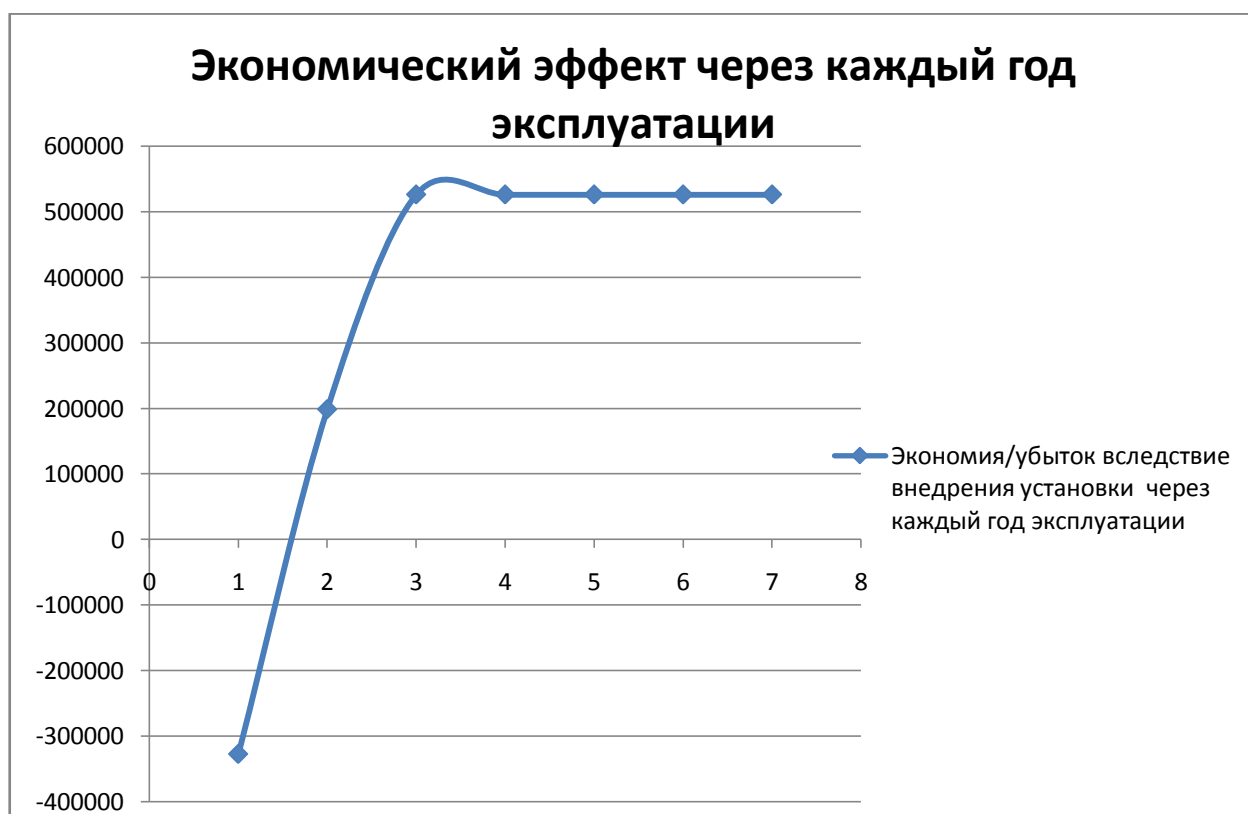


Рисунок 15- Экономический эффект

Как видно из расчетов по данным таблицы, экономия средств после внедрения установки начинается уже со второго года эксплуатации, и она

составляет порядка 200 тысяч рублей. С третьего года эксплуатации теплообменной установки начинается максимально возможная экономия средств, которая превышает 500 тысяч рублей в год. Как было ранее замечено, расчеты производились только по одному объекту одной компании, а таких объектов, по известным данным, с аналогичными проблемами можно насчитать около одного десятка. Даже при том, что температура добываемой нефти будет невысока (40-50 С°), то можно будет применить комбинированный способ отапливания помещений, то есть нехватку тепла компенсировать электронагревательным ТЭНом. Данный способ будет менее опасным и более дешевым, нежели отопление только электронагревательными приборами. Если учитывать данный фактор, то годовая экономия средств компании увеличивается в 10 раз и составит более 5 миллионов рублей. Стоит также упомянуть об упущенной экономии за все время, которое работает имеющийся объект в компании. Поэтому следует максимально эффективно и рационально использовать имеющиеся запасы энергии планеты, а не впустую их растрачивать, поскольку речь идет не только об экономии средств, а также об экономии природных источников энергии, которые в своем роде являются невозобновимыми.

6 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

6.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Для того, чтобы определить потенциальных потребителей результатов исследования необходимо рассмотреть целевой рынок, а также провести его сегментирование.

Целевой рынок – сегменты рынка, на котором будет продаваться в будущем разработка. В свою очередь, сегмент рынка – это особым образом выделенная часть рынка, группы потребителей, обладающих определенными общими признаками [25].

Как результат проекта, на нефтедобывающем месторождении планируется монтаж теплообменной установки для отопления бытовых и производственных помещений за счет тепла, добываемой нефти.

Для данного проекта целевым рынком являются нефтедобывающие компании, где температура добываемой нефти не менее 60 °С.

На сегодняшний день энергосбережение является одной из самых актуальных проблем во всем мире. На примере компании АО «Томскнефть» ВНК предлагается частичное решение проблемы энергосбережения за счет отапливания производственных и бытовых помещений за счет тепла добываемой на объекте нефти. Вследствие этого, теплообменная установка (кожухотрубчатый теплообменник) будет наиболее приемлемым вариантом решения данного вопроса.

Проведем сегментирование рынка по приведенным признакам и составим карту сегментирования.

6.2 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

Детальный анализ конкурирующих разработок, существующих на рынке, необходимо проводить систематически, поскольку рынки пребывают в постоянном движении. Такой анализ помогает вносить коррективы в научное исследование, чтобы успешнее противостоять своим соперникам [25].

С этой целью может быть использована вся имеющаяся информация о конкурентных разработках:

- технические характеристики разработки;
- конкурентоспособность разработки;
- уровень завершенности научного исследования (наличие макета, прототипа и т.п.);
- бюджет разработки;
- уровень проникновения на рынок;
- финансовое положение конкурентов, тенденции его изменения и т.д.

Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения позволяет провести оценку сравнительной эффективности научной разработки и определить направления для ее будущего повышения.

Целесообразно проводить данный анализ с помощью оценочной карты, пример которой приведен в табл. 2. Для этого необходимо отобрать не менее трех-четырех конкурентных товаров и разработок.

Таблица 7 - Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)

| Критерии оценки | Вес критерия | Конкурентоспособность | | | |
|----------------------------|--------------|-----------------------|-----------------|----------------|-----------------|
| | | Б _ф | Б _{к1} | К _ф | К _{к1} |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 6 | 7 |
| 1. Удобство в эксплуатации | 0,1 | - | 4 | - | 0,4 |
| 2. Безопасность | 0,3 | - | 5 | - | 1,5 |
| 3. Энергосбережение | 0,4 | - | 5 | - | 2 |
| 4. Надежность | 0,15 | - | 3 | - | 0,45 |
| 5. Простота эксплуатации | 0,05 | - | 4 | - | 0,2 |
| Итого | 1 | | | | 4,55 |

Т.к. Б_ф является баллом показателя, когда в технологической схеме еще не введена теплообменная установка, то этот балл будет равен нулю. Вследствие этого конкурентоспособность в случае «ДО» тоже будет равняться нулю

6.3 Диаграмма Исикавы

Диаграмма причины-следствия Исикавы (Cause-and-Effect-Diagram) - это графический метод анализа и формирования причинно-следственных связей, инструментальное средство для систематического определения причин проблемы и последующего графического представления.

Область применения диаграммы:

- Выявление причин возникновения проблемы;
- Анализ и структурирование процессов на предприятии;
- Оценка причинно-следственных связей.

Общий вид диаграммы Исикавы представлен на рис.3

Построение диаграммы начинают с формулировки проблемной области/темы, которая является объектом анализа и наносится на центральную горизонтальную стрелку диаграммы.

Затем выявляются факторы/группы факторов, влияющие на объект анализа. Часто, для выявления таких факторов используется прием 6М:

- персонал (Manpower);
- оборудование (Machine);
- сырье, материалы, комплектующие (Material);
- технология проведения работ (Method);
- средства измерения и методы контроля (Measurement);
- производственная среда (Media).

Выявленные факторы подводят к стрелкам диаграммы первого уровня.

Далее к каждой стрелке подводят стрелки второго уровня, к которым, в свою очередь, подводят стрелки третьего уровня и т. д. до тех пор, пока на диаграмму не будут нанесены все стрелки, обозначающие факторы, оказывающие заметное влияние на объект анализа. Каждый фактор более низкого уровня будет являться следствием по отношению к причине более высокого уровня [25].

Степень детализации диаграммы (количество факторов и причинно-следственных уровней) определяет разработчик диаграммы. Наклон и размер стрелок не имеют значения.

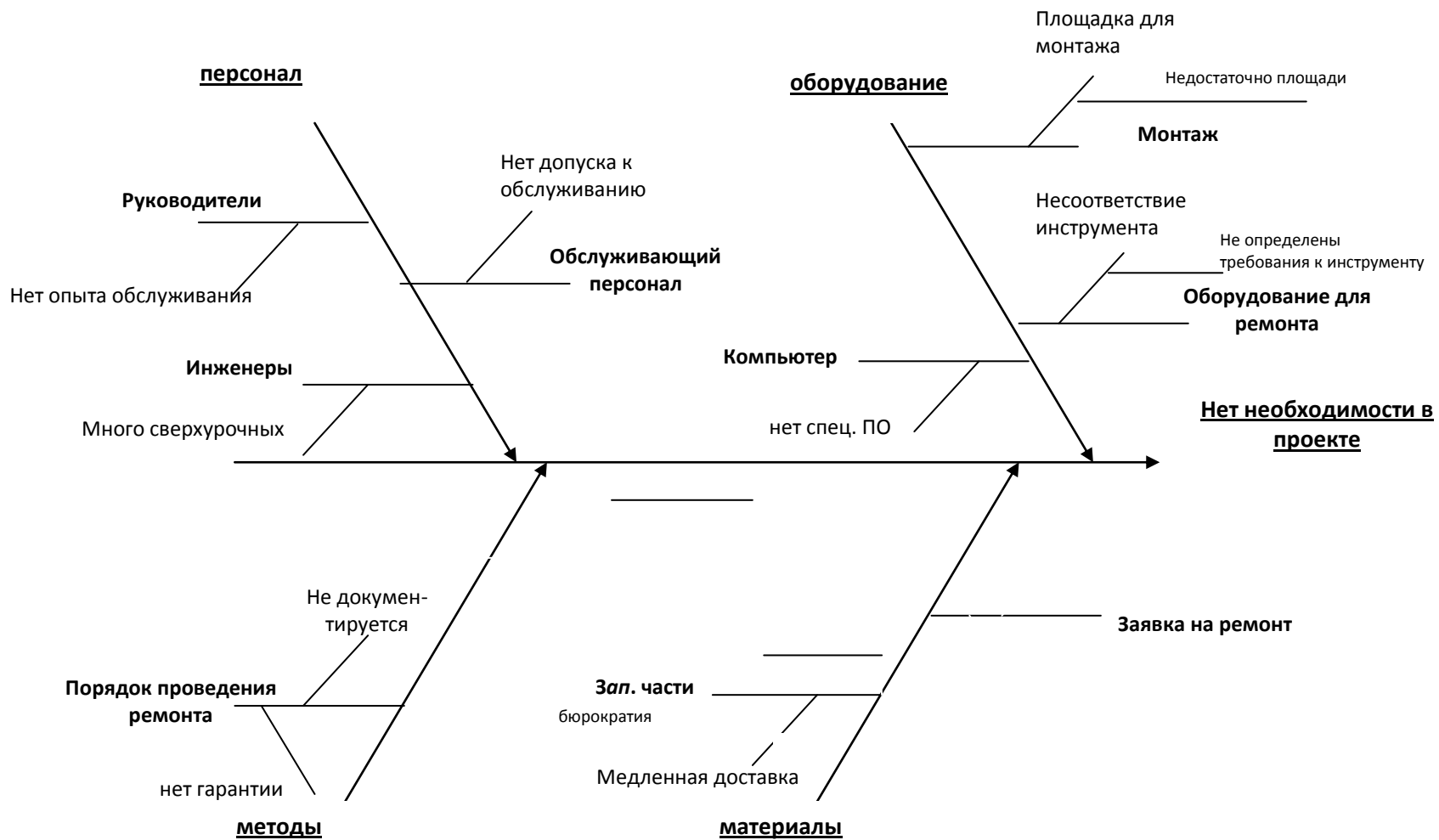


Рисунок 16 – Диаграмма Исикавы

6.4 Оценка готовности проекта к коммерциализации

На какой бы стадии жизненного цикла не находилась научная разработка полезно оценить степень ее готовности к коммерциализации и выяснить уровень собственных знаний для ее проведения (или завершения). Для этого необходимо заполнить специальную форму, содержащую показатели о степени проработанности проекта с позиции коммерциализации и компетенциям разработчика научного проекта. Перечень вопросов приведен в табл. 8.

Таблица 8 - Бланк оценки степени готовности научного проекта к коммерциализации

| № п/п | Наименование | Степень проработанности научного проекта | Уровень имеющихся знаний у разработчика |
|-------|--|--|---|
| 1. | Определен имеющийся научно-технический задел | 4 | 4 |
| 2. | Определены перспективные направления коммерциализации научно-технического задела | 5 | 4 |
| 3. | Определены отрасли и технологии (товары, услуги) для предложения на рынке | 5 | 4 |
| 4. | Определена товарная форма научно-технического задела для представления на рынок | 4 | 4 |
| 5. | Определены авторы и осуществлена охрана их прав | 2 | 3 |
| 6. | Проведена оценка стоимости интеллектуальной собственности | 1 | 2 |
| 7. | Проведены маркетинговые исследования рынков сбыта | 2 | 2 |
| 8. | Разработан бизнес-план коммерциализации научной разработки | 2 | 3 |
| 9. | Определены пути продвижения научной разработки на рынок | 4 | 4 |
| 10. | Разработана стратегия (форма) реализации научной разработки | 4 | 4 |
| 11. | Проработаны вопросы международного сотрудничества и выхода на зарубежный рынок | 2 | 3 |

| | | | |
|-----|---|----|----|
| 12. | Проработаны вопросы использования услуг инфраструктуры поддержки, получения льгот | 3 | 3 |
| 13. | Проработаны вопросы финансирования коммерциализации научной разработки | 4 | 4 |
| 14. | Имеется команда для коммерциализации научной разработки | 3 | 4 |
| 15. | Проработан механизм реализации научного проекта | 4 | 3 |
| | ИТОГО БАЛЛОВ | 49 | 50 |

Оценка готовности научного проекта к коммерциализации (или уровень имеющихся знаний у разработчика) определяется по формуле:

$$B_{\text{сум}} = \sum B_i, \quad (398)$$

где $B_{\text{сум}}$ – суммарное количество баллов по каждому направлению;

B_i – балл по i -му показателю.

Значение $B_{\text{сум}}$ говорит о мере готовности научной разработки и к ее коммерциализации. В данном случае $B_{\text{сум}}$ составляет 49 и 50. Перспективность данной разработки считается выше среднего, а знания разработчика достаточными для успешной ее коммерциализации. Вложение средств в данный проект будет оправданным.

6.5 Методы коммерциализации результатов научно-технического исследования

При коммерциализации научно-технических разработок продавец (а это, как правило, владелец соответствующих объектов интеллектуальной собственности), преследует вполне определенную цель, которая во многом зависит от того, куда в последующем он намерен направить (использовать, вложить) полученный коммерческий эффект. Это может быть получение средств для продолжения своих научных исследований и разработок (получение финансирования, оборудования, уникальных материалов, других научно-технических разработок и т.д.), однократное получение финансовых ресурсов для каких-либо целей или для накопления, обеспечение постоянного притока финансовых средств, а также их различные сочетания.

Выделяют следующие методы коммерциализации научных разработок.

1. *Торговля патентными лицензиями*, т.е. передача третьим лицам права использования объектов интеллектуальной собственности на лицензионной основе. При этом в патентном законодательстве выделяющие виды лицензий: исключительные (простые), исключительные, полные лицензии, сублицензии, опционы.

2. *Передача ноу-хау*, т.е. предоставление владельцем ноу-хау возможности его использовать другим лицом, осуществляемое путем раскрытия ноу-хау.

3. *Инжиниринг* как самостоятельный вид коммерческих операций предполагает предоставление на основе договора инжиниринга одной стороной, именуемой консультантом, другой стороне, именуемой заказчиком, комплекса или отдельных видов инженерно-технических услуг, связанных с проектированием, строительством и вводом объекта в эксплуатацию, с разработкой новых технологических процессов на предприятии заказчика, усовершенствованием имеющихся

производственных процессов вплоть до внедрения изделия в производство и даже сбыта продукции.

4. *Франчайзинг*, т.е. передача или переуступка (на коммерческих условиях) разрешения продавать чьи-либо товары или оказывать услуги в некоторых областях.

5. *Организация собственного предприятия*.

6. *Передача интеллектуальной собственности* в уставной капитал предприятия.

7. *Организация совместного предприятия*, т.е. объединение двух и более лиц для организации предприятия.

8. *Организация совместных предприятий*, работающих по схеме «российское производство – зарубежное распространение».

Проанализировав перечисленные методы коммерциализации, мною был выбран единственно подходящий метод – это инжиниринг.

Такой выбор связан с тем, что проект разрабатывался на основе фактических данных, взятых непосредственно с объекта производства.

Поэтому разработка является актуальной лишь для предприятий аналогичного рода деятельности, то есть для нефтедобывающих предприятий, а также, имеющие схожие проблемы и параметры нефти. Такой метод коммерциализации является единственным подходящим в данном случае [25].

6.6 Инициация проекта

Группа процессов инициации состоит из процессов, которые выполняются для определения нового проекта или новой фазы существующего. В рамках процессов инициации определяются изначальные цели и содержание и фиксируются изначальные финансовые ресурсы. Определяются внутренние и внешние заинтересованные стороны проекта, которые будут взаимодействовать и влиять на общий результат научного проекта. Данная информация закрепляется в Уставе проекта.

Устав проекта документирует бизнес-потребности, текущее понимание потребностей заказчика проекта, а также новый продукт, услугу или результат, который планируется создать [25].

Таблица 9 – Заинтересованные стороны проекта

| Заинтересованные стороны проекта | Ожидания заинтересованных сторон |
|--|---|
| АО «Томскнефть» ВНК | Разработка процессов энергосбережения на объектах компании за счет имеющихся ресурсов. |
| Национальный исследовательский Томский политехнический университет | Сотрудничество, развитие партнёрских отношений для достижения общих экономических и стратегических целей. |

Таблица 10 – Цели и результаты проекта

| | |
|---------------|--|
| Цели проекта: | Разработка теплообменной установки для отопления бытовых и производственных помещений. |
|---------------|--|

Продолжение таблицы 10

| | |
|--------------------------------------|--|
| Ожидаемые результаты проекта: | Снижение затрат на оплату электроэнергии после внедрения данного проекта |
| Критерии приемки результата проекта: | Соответствие СанПиН 2.1.4.2496-09, СНиП 41-01-2003, ТУ 3612-024-00220302-02. |
| Требования к результату проекта: | Требование: |
| | Использование не менее 75% тепла добываемой нефти |
| | Взрыво- и пожароопасные риски меньше, чем у применяемой системы отопления. |
| | Энергосбережение увеличится минимум на 10% |

Необходимо определить группу данного проекта и роль каждого участника, их функции и трудозатраты.

Таблица 11 – Рабочая группа проекта

| № п/п | ФИО, основное место работы, должность | Роль в проекте | Функции | Трудозатраты, час. |
|-------|---|----------------------|--|--------------------|
| 1 | Беляев Василий Михайлович, к.т.н., доцент НОЦ им.Н.М. Кижнера ИШНПТ ТПУ | Руководитель проекта | Отвечает за реализацию проекта в пределах заданных ограничений по ресурсам, координирует деятельность участников | 104 |

Продолжение таблицы 11

| | | | | |
|--------|--|------------------------|--|------|
| 2 | АО «Томскнефть» ВНК | Заказчик проекта | Формирует цели проекта, ограничения проекта по срокам и затратам (бюджету) | н/д |
| 3 | Чистяков Евгений Александрович, магистрант НОЦ им.Н.М. Кижнера ИШНПТ ТПУ | Исполнитель проекта | Выполнение работ по проекту | 1386 |
| ИТОГО: | | | | 1490 |

Ограничения проекта – это все факторы, которые могут послужить ограничением степени свободы участников команды проекта, а также «границы проекта» – параметры проекта или его продукта, которые не будут реализованы в рамках данного проекта.

Таблица 12 – Ограничения проекта

| Фактор | Ограничения/ допущения |
|--|------------------------|
| 3.1. Бюджет проекта | 1,5 млн. руб. |
| 3.1.1. Источник финансирования | АО «Томскнефть» ВНК |
| 3.2. Сроки проекта: | сентябрь 2016-май 2018 |
| 3.2.1. Дата утверждения плана управления проектом | 15.09.2016 |
| 3.2.2. Дата завершения проекта | Май 2018 |

6.7 Планирование управления научно-техническим проектом

6.7.1 Иерархическая структура работ проекта

Иерархическая структура работ (ИСР) – детализация укрупненной структуры работ. В процессе создания ИСР структурируется и определяется содержание всего проекта.[25]

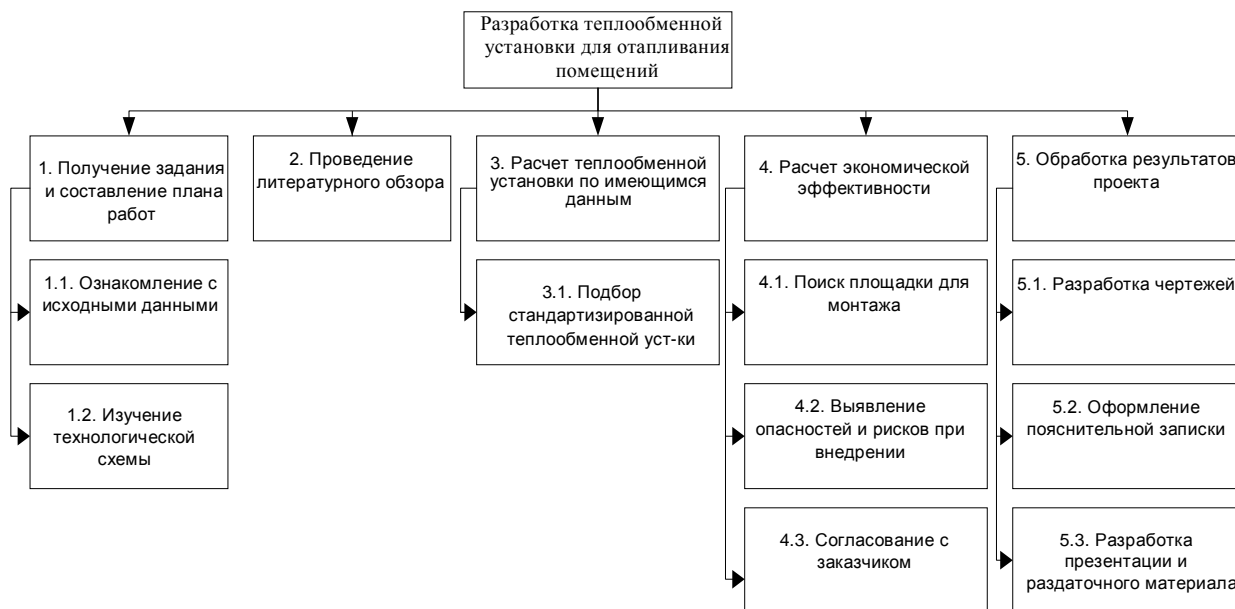


Рисунок 17 – Иерархическая структура работ по проекту

6.7.2 Контрольные события проекта

В рамках данного раздела необходимо определить ключевые события проекта, определить их даты и результаты, которые должны быть получены по состоянию на эти даты. Эту информацию необходимо свести в таблицу (табл. 13).

Таблица 13 - Контрольные события проекта

| № п/п | Контрольное событие | Дата | Результат (подтверждающий документ) |
|--------------|---|-------------|---|
| 1 | Планирование | 15.09.16 | План работ и набор вопросов для расчета проекта |
| 2 | Сбор информации | 10.11.16 | Технологический регламент объекта, с целью подбора исходных данных для расчета. |
| 3 | Совещание с технологами производства | 20.01.17 | Формулировка целей, которые будут преследоваться на протяжении всего проекта. |
| 4 | Расчет ВКР | 20.10.17 | Черновой вариант ВКР |
| 5 | Совещание с руководителем ВКР с целью доработки проекта | 15.05.18 | Конечный вариант ВКР |

6.7.3 План проекта

В рамках планирования научного проекта необходимо построить календарный график проекта.

Линейный график представляется в виде таблицы.

Диаграмма Ганта – это тип столбчатых диаграмм (гистограмм), который используется для иллюстрации календарного плана проекта, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ.

График строится в виде табл. 8 с разбивкой по месяцам и декадам (10 дней) за период времени выполнения научного проекта. При этом работы на графике следует выделить различной штриховкой в зависимости от исполнителей, ответственных за ту или иную работу [25].

Таблица 14 – Календарный план-график проведения НИОКР по теме

| Код работ | Вид работ | Исполнители | Т _к , раб. дн. | Продолжительность выполнения работ | | | | |
|-----------|--------------------------------------|--|---------------------------|---|--|--|---|---|
| | | | | 01.09.2016 - 15.09.2016 | 15.09.2016 - 10.11.2016 | 10.11.2016 - 20.01.2017 | 20.01.2017 - 20.10.2017 | 20.10.2017 - 25.05.2018 |
| 1 | Планирование | Руководитель, магистрант, заказчик | 15 |    | | | | |
| 2 | Сбор информации | Магистрант, заказчик | 56 | |   | | | |
| 3 | Совещание с технологами производства | Руководитель, магистрант | 71 | | |   | | |
| 4 | Расчет ВКР | Магистрант | 273 | | | |  | |
| 5 | Доработка ВКР | Магистрант, руководитель, заказчик | 217 | | | | |    |

 - Магистрант,
  - Руководитель,
  - Заказчик

6.8 Экономическая эффективность

Таблица 15 - Расходы на электроэнергию «до» и «после» внедрения установки

| № п./п. | Показатели | Единица измерения | Источник информации. ответственный за предоставленную или согласованную информацию | Расчет | Данные |
|------------------------------------|------------------------------------|-------------------|--|--|-------------------------------|
| Исходные данные для расчета | | | | | |
| 1 | Мощность обогревателей | кВт | Данные с объекта ЦППН-4 УПСВ-8 | - | а)1,5; б) 2 |
| 2 | Количество обогревателей | шт. | Данные с объекта ЦППН-4 УПСВ-8 | - | а)9шт-1,5 кВт б) 9шт-2 кВт |
| 3 | Время отопления помещения | мес. | Данные с объекта ЦППН-4 УПСВ-8 | - | 8 |
| 4 | Тариф на электроэнергию (2016) | Руб./ (кВт*ч) | Управление энергетики ТН | - | 3,3223 |
| 5 | Годовое потребление электроэнергии | кВт*ч | Данные с объекта ЦППН-4 УПСВ-8 | П.1А*П.2А*П.3*24+ +П.1Б*П.2Б*П.3*24 | 181440 |
| 6 | Годовые затраты на электроэнергию | ТЫС. РУБ. | - | П.5*П.4 | 602,8 |
| 7 | ИТОГО ЗАТРАТЫ ДО ВНЕДРЕНИЯ | ТЫС. РУБ. | - | П.6 | 602,8 |

| Расчет затрат после внедрения мероприятия | | | | | |
|---|---|------------------|---|---|-----------------------|
| 8 | Годовое потребление электроэнергии | кВт*ч | - | $4*24*П.3*П.4$ | 23040 |
| 9 | Годовые затраты на электроэнергию | тыс. руб. | - | $П.8*П.4$ | 77,55 |
| 10 | Обслуживание теплообменника | тыс. руб. | ООО «КСС ХИТИНГ»- теплообменное оборудование | - | 10 |
| 11 | Покупка, монтаж и доставка теплообменника | тыс. руб | ЗАО «ЦЭЭВТ»;_ООО «ЖелДорЭкспедиция» | - | 450 |
| 12 | Установка бокса под теплообменник | тыс. руб | ООО «ПСС» | - | 385 |
| 13 | Покупка, монтаж и доставка трубопровода | тыс. руб | ООО «СтальГрупп» | - | 94 |
| 14 | Итого затраты после внедрения | тыс. руб. | - | $П.8+П.9+П.10++П.11+П.12+П.13$ | 1016,55 |
| 15 | Срок окупаемости мероприятия | мес., год | - | WHEN (П. 7-П.14)+ +(П.9+П.10)>=0, THEN ANSWER | 1 год и 5 мес. |
| 16 | Итого экономический эффект после 1-го года | тыс. руб. | - | $П. 7-П.14$ | -413,75 |
| 17 | Итого экономический эффект после 2-го года | тыс. руб. | - | $П.7+П.16- (П.9+П.10)$ | 101,5 |
| 18 | Итого экономический эффект после окончания внедрения | тыс. руб. | - | $П.7- (П.9+П.10)$ | 515,3 |

7 Социальная ответственность

С развитием научно-технического прогресса немаловажную роль играет возможность безопасного исполнения людьми своих трудовых обязанностей.

Круг практических задач социальной ответственности включает [26]:

- обеспечение безопасности жизни и здоровья работников в процессе трудовой деятельности в целях сохранения человеческого капитала;

- решение задач по улучшению условий и охраны труда, промышленной и экологической безопасности;

- повышение эффективности систем оценки условий труда и улучшения здоровья работающих;

- выявление и оценка профессиональных рисков и управление ими;

- стимулирование работодателя к замещению рабочих мест с вредными условиями труда;

- принятие новых норм и правил и внесение изменений в действующие нормы и правила в сфере охраны труда, их гармонизация с международными нормами;

- внедрение системы специальной оценки условий труда;

- работа по совершенствованию обязательного социального страхования от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний;

- формирование страховых тарифов в зависимости от состояния условий и охраны труда на рабочих местах;

- совершенствование системы подготовки и переподготовки специалистов в сфере охраны труда с учетом соответствующих профессиональных стандартов и с использованием современных технологий.

7.1 Анализ вредных и опасных производственных факторов

Установка предварительного сброса воды (УПСВ Южно-Черемшанского месторождения) является пунктом сбора продукции скважин, поступающей с Южно-Черемшанского и Колотушного месторождений.

УПСВ предназначена:

- для обеспечения непрерывного приема продукции скважин;
- для осуществления первой и второй ступени сепарации нефти, отбора газа первой ступени и концевой ступени сепарации;
- обезвоживание поступившей на УПСВ жидкости;
- транспортировки подтоварной воды для очистки от нефти и мехпримесей в цех ППД 2;
- транспортировки частично обезвоженной нефти насосами на установку подготовки нефти (УПН «Пионерный»);
- оперативного учета перекачиваемой нефти.
- оперативного учета попутного газа.

Технологический процесс установки по показателям пожаро- и взрывоопасности относится к взрывопожароопасному.

Аппараты находятся на открытых площадках, главные компрессоры, а также основная часть насосного оборудования расположены в отдельных производственных помещениях. Наблюдение за процессом и контроль технологических параметров осуществляется операторами и машинистами при помощи центрального пульта управления (ЦПУ), а также с периодическим обходом оборудования.

Опасный производственный фактор - производственный фактор, воздействие которого на работающего в определенных условиях приводит к травме, острому отравлению или другому внезапному резкому ухудшению здоровья, или смерти [27].

Вредный производственный фактор – производственный фактор, воздействие которого на работающего в определенных условиях может привести к заболеванию, снижению работоспособности и(или) отрицательному влиянию на здоровье потомства [27].

Основные опасности установки обусловлены:

- особенностями технологического процесса или выполнения отдельных производственных операций;
- особенностями используемого оборудования и условиями его эксплуатации;
- нарушениями правил безопасности работающими;
- обращением веществ, с низким нижним концентрационным пределом воспламенения, способных образовывать взрывоопасные смеси горючих газов и паров с воздухом.

Рассмотрим производственные опасности, которые могут привести к пожару, взрыву, отравлению.

Основными опасностями применяемого оборудования и трубопроводов являются:

- Наличие нефти в аппаратах и трубопроводах, высокие давления протекания технологических процессов.
- Продукты «дыхания» ёмкостей и резервуаров – возможно отравление при превышении ПДК паров или(и) газов нефти.
- Разгерметизация ёмкостей, резервуаров или(и) трубопроводов – возможны:
 - ♦ отравление при превышении ПДК паров или(и) газов нефти
 - ♦ взрыв при превышении ПДВК и, как следствие, травмирование персонала разлетающимися частями оборудования или(и) получение ожогов различной степени тяжести.
 - ♦ образование скользких поверхностей – возможно: падение, ушибы, переломы

Подтоварная вода под давлением в аппаратах и трубопроводах.

- Продукты «дыхания» ёмкостей и резервуаров – возможно отравление при превышении ПДК паров или (и) газов нефтепродуктов.
- Разгерметизация ёмкостей, резервуаров или(и) трубопроводов – возможны:
 - ♦ отравление при превышении ПДК паров или(и) газов нефтепродуктов

- ♦ взрыв при превышении ПДВК и, как следствие, травмирование персонала разлетающимися частями оборудования или(и) получение ожогов различной степени тяжести.

- ♦ образование скользких поверхностей – возможно: падение, ушибы, переломы

Деэмульгатор в аппаратах, трубопроводах, емкостях хранения

- Испарения - возможно: отравление при превышении ПДК;
- Разгерметизация БРХ - возможно отравление при превышении ПДК, травмирование глаз, повреждение кожных покровов.

- Падение бочко-тары при разгрузочно-погрузочных работах - возможно: травмирование персонала; взрыв при превышении ПДВК и, как следствие, травмирование персонала разлетающимися частями оборудования или(и) получение ожогов различной степени тяжести.

Наличие газа (газового конденсата) в аппаратах, газопроводах, факелах.

- Разгерметизация ёмкостей, или(и) трубопроводов – возможны:
- ♦ отравление при превышении ПДК газа
- ♦ взрыв при превышении ПДВК и, как следствие, травмирование персонала разлетающимися частями оборудования или(и) получение ожогов различной степени тяжести.

Метанол в аппаратах, трубопроводах, емкостях хранения

- Испарения - возможно: отравление при превышении ПДК.
- Разгерметизация аппаратов или(и) трубопроводов- возможно:
- ♦ отравление, травмирование глаз, повреждение кожных покровов,
- ♦ взрыв при превышении ПДВК и, как следствие, травмирование персонала разлетающимися частями оборудования или(и) получение ожогов различной степени тяжести,

Вибрация при работе оборудования

- Длительное воздействие - возможно: костно-мышечные заболевания, инвалидность.

Шум при работе оборудования

- Поражение органов слуха при длительном и интенсивном кратковременном воздействии возможно: заболевание, инвалидность.

Перепад высот положительный /отрицательный

- Падение с высоты/падение в колодцы - возможно: инвалидность, смерть.

Электрооборудование под высоким напряжением

- Поражение электрическим током - возможно: электротравма, электроожоги, смертельный случай.

Электронагревательные приборы

- Прикосновение к нагретым частям - возможно: ожоги.

Теплоноситель в печах нагрева

- Высокая температура поверхности - возможно: ожоги.
- Разгерметизация – возможны травмы и ожоги.
- Разгерметизация с возгоранием - возможно: взрыв с разрушением конструкций травма, ожоги, смертельный случай.

Основными источниками вредных для здоровья человека продуктов являются:

- выхлопы газообразных нефтепродуктов от дыхательных клапанов РВС и дренажных емкостей;
- “дыхание” расходной емкости дезмульгатора.

К наиболее опасным местам на УПСВ Южно-Черемшанского месторождения относятся:

- Насосная внешней перекачки;
- блоки дозирования реагента БДР-1/1, БДР-1/2;
- блок контроля качества нефти;
- электрощитовые;
- резервуары РВС 1, 2;
- нефтегазосепаратор С – 1, О-1, УСТН, ГС, РСКУ;
- факельные системы.

Газы, выделившиеся в процессе подготовки нефти, являются горючими и способны при утечках образовывать с воздухом взрывоопасные смеси.

Деэмульгаторы, используемые на установке, являются пожароопасными и токсичными веществами. Метанол, применяемый для ввода в газопроводы, является техническим сильнодействующим ядом.

При нарушении правил обслуживания механизмов, имеющих движущиеся и вращающиеся части, возможны механические травмы.

При неисправности электрооборудования, электросетей, а также при несоблюдении правил электробезопасности существует возможность поражения электрическим током.

При несоблюдении правил хранения и противопожарных норм возможно загорание смазочных масел и обтирочного материала.

Наличие гидравлических пробок в коммуникациях может вызвать гидравлические удары и разрушение коммуникаций и аппаратов.

Возможно коррозионное разрушение емкостей, арматуры и трубных коммуникаций.

При попадании воздуха в факельную систему возможны взрывы и пожары.

Параметры безопасности труда устанавливаются ГОСТ 12.0.001 – 82;

Параметры определения шумовых характеристик устанавливаются ГОСТ 12.1.003 – 83;

Параметры электрического напряжения устанавливаются ГОСТ Р 12.1.019-2009 ССБТ;

Работа с сосудами под давлением устанавливается ПБ 10 – 115 – 96;

Опасность термических ожогов устанавливаются по РД 153-34.0-03.702-99;

Опасность взрыва и пожара по ГОСТ 12.1.010–76 ССБТ;

ПДК устанавливаются ГН 2.2.5.1313. – 03;

Нормы освещения рабочей зоны и производственных помещений по ГОСТ Р 55710 – 2013.

Токсичность веществ и их воздействие на организм человека определяются большим числом факторов, из которых основными являются физико-химические свойства веществ, комбинированное их действие, внешние условия, концентрация и продолжительность воздействия.

Углеводороды предельные C1-C7 по характеру воздействия на организм человека относятся к IV классу опасности, метанол – к III классу опасности (ГОСТ 12.1.005-88. Общие санитарно гигиенические требования к воздуху рабочей зоны).

7.2 Производственная санитария

Промышленная санитария – система организационных, гигиенических и санитарно – технических мероприятий, предотвращающих воздействие на работающих вредных производственных факторов [28].

Состояние воздушной среды

На производстве возможен контакт обслуживающего персонала с вредными веществами по следующим причинам:

- фоновые постоянные (через неплотности оборудования и запирающих устройств);
- отсутствие герметичности на аппаратуре;
- возможности разгерметизации оборудования, трубопроводов и арматуры, при продувках, стравливании газа из трубопроводов, аппаратов во время ремонтных работ, открытие предохранительных клапанов при аварии.

Санитарно-гигиеническая характеристика производственного процесса определяется применением токсических веществ. С целью обеспечения нормальных санитарных условий все производственные помещения, связанные с применением токсических веществ обеспечены проточно-вытяжной вентиляцией.

Сероводород является наиболее токсичным в составе атмосферы объектов по добыче и переработке нефти и газа. Пары сырой нефти малотоксичны. Большее воздействие оказывает попадание нефти на кожные покровы человека, вследствие чего могут возникнуть экземы и дерматиты. Установлено, что токсичность сероводорода возрастает в составе нефтяного газа. Предельно допустимая концентрация сероводорода в рабочей зоне равна по 10 мг/м³[28].

По категориям опасных газовыделений установка относится к опасным с содержанием сероводорода не более 0,2%. Учитывая выше изложенное, в целях предупреждения профзаболеваний и улучшения условий труда для трудящихся предусмотрены льготы. Обслуживающий персонал обеспечивается спецодеждой и средствами индивидуальной защиты.

Состав воздуха блок-боксов насосов перекачки нефти, теплоносителя, а также машинные залы главных компрессоров и газодувок газа регенерации

постоянно контролируется датчиками загазованности с выходом сигнала (светового и звукового) в операторную. При превышении содержания взрывоопасных паров углеводородов выше 20% от НКПВ происходит включение приточно-вытяжной вентиляции, при дальнейшем повышении уровня загазованности и достижения 50% от НКПВ происходит аварийное отключение приточно-вытяжной вентиляции и всего оборудования.

Контроль состояния воздушной среды открытых площадок осуществляется датчиками загазованности с выходом сигнала (светового и звукового) в операторную и переносным газоанализатором.

7.3 Метеорологические условия

Метеоусловия зависят от состояния воздушной среды и характеризуется следующими элементами: влажностью, скоростью движения воздуха, тепловым излучением нагретых поверхностей оборудования и обработыванием деталей и материалов. Для обеспечения этих условий в пределах санитарных норм и поддержанием теплового равновесия между теплом человека и окружающей средой на производстве необходимо проводить ряд мероприятий:

- механизация и автоматизация тяжелых работ;
- дистанционное управление теплоизлучающими процессами и аппаратами;
- рациональное размещение и теплоизоляция оборудования, аппаратов и трубопроводов, излучающих тепло;
- для предупреждения переохлаждений и простудных заболеваний в цех

устраивают тамбуры. Для работающих на холоде, предусмотрены специально оборудованные помещения для обогрева;

С целью создания нормальных условий работы персонала установлены нормы производственного микроклимата.

Нормативные показатели производственного микроклимата установлены [28] «Воздух рабочей зоны. Общие санитарно-гигиенические требования», а также [29]. (Этими нормами регламентируют показатели микроклимата в рабочей зоне производственного помещения: температура, относительную влажность, скорость движения воздуха и тепловое излучение).

7.4 Шумы

На данном производстве источниками шума являются: машинный зал компрессорной, блок-боксы насосных перекачки нефти и теплоносителя.

Повышение уровня шума оказывает вредное воздействие на организм человека, производственное оборудование, коммуникации и сооружения [30]. Все это предусматривает необходимость разработки и осуществления комплекса инженерно-технических и организационных мероприятий для снижения шума до величины установленных санитарными нормами и ГОСТом 12.1.003-83. Для постоянных рабочих мест и рабочей зоны в производственном помещении и на территории предприятия допустимый уровень шума - 80 дБА [30]. Уровень шума в боксах составляет максимально 90 и 100 дБА. Помещения внутри боксов не являются постоянными рабочими местами. Боксы своими стенами из металла и полиуретанового пенопласта препятствуют выходу наружу шума.

7.5 Освещение

Все сосуды и аппараты на УПСВ-8 находятся на открытой площадке при естественном освещении. Естественный солнечный свет характеризуется большой интенсивностью и равномерностью освещения, и создает наилучшие условия для работы. В темное время суток территория УПСВ-8 освещается прожекторами.

В связи с тем, что условия деятельности машинистов и операторов связаны с явным преобладанием зрительной информации, до 90 %, особенно важным становится вопрос производственного освещения. Поэтому в производственных помещениях используется искусственное освещение. Для искусственного освещения используются люминесцентные лампы ЛБ – белого цвета или ЛТБ – тепло – белого цвета, мощностью 20,40,60 Вт. Согласно действующим санитарным нормам и правилам [31], для искусственного освещения регламентирована наименьшая допустимая освещенность рабочих мест, а для естественного и совмещенного – коэффициент естественной освещенности (КЕО).

7.6 Электробезопасность

Источниками электрической опасности являются:

- оголенные части проводов или отсутствие изоляции;
- отсутствие заземления;
- замыкания;
- статическое напряжение.

От токоведущих частей электроустановок человека защищают изолирующие защитные средства. Они подразделяются на основные и дополнительные. Основными изолирующими средствами защиты разрешается прикасаться к токоведущим частям электроустановок, имеющих рабочее напряжение до 1000 Вольт. В первую очередь, к таким защитным средствам относится слесарно-монтажный инструмент, снабженный изолирующими рукоятками – плоскогубцы, ножи, отвертки и т.п.

Электробезопасность работающего персонала и посторонних лиц должна обеспечиваться выполнением следующих мероприятий [32]:

1. Соблюдение соответствующих расстояний до токоведущих частей;
2. Изоляция токопроводимых частей;
3. Применение блокировки аппаратов и ограждающих устройств для предотвращения ошибочных операций и доступа к токоведущим частям;
4. Использование предупреждающей сигнализации, надписей и плакатов;
5. Применение устройств для снижения напряженности электрических и магнитных полей до допустимых значений;
6. Использование средств защиты и приспособлений.

7.7 Пожарная безопасность

Причины возникновения пожаро- взрывоопасной ситуации :

- Разгерметизация трубопроводов в местах соединения;
- Проведение огневых работ без первичных средств пожаротушения;
- Разгерметизация оборудования с возгоранием;
- Большое количество резервуаров, емкостей и аппаратов, в которых имеются пожароопасные продукты под высоким давлением и высокой температуре, разветвленная сеть технологических трубопроводов с многочисленной запорно-пусковой и регулирующей арматурой и контрольно-измерительными приборами;
- Высокая теплота сгорания веществ и материалов[33].
- В свою очередь, пожары, взрывы и аварийная загазованность

могут быть следствием возникновения следующих аварийных ситуаций:

- Использование неисправного оборудования;
- Нарушение технологического режима;
- Пуск неисправной технологической линии (аппарата) установки;
- Нарушение правил ремонтных работ;

На основании анализа пожарной опасности технологического процесса, с учетом режимов работы технологического оборудования проведем пожарно-профилактические мероприятия [34].

Здания, сооружения, помещения, технологические установки должны быть обеспечены первичными средствами пожаротушения: огнетушителями, ящиками с песком, асбестовое полотно, грубошерстная ткань, войлок (кошма), пожарными ведрами, совковыми лопатами, штыковыми лопатами, пожарным инструментом (крюками, ломы, топорами и т.п.), которые используются для локализации и ликвидации пожаров в начальной стадии их развития [34].

7.8 Экологическая безопасность

Подготовка и компримирование газа это многостадийный процесс, который включает в себя сепарацию, осушку и компримирование газа.

Подготовка газа не является безотходным процессом. При подготовке газа так же возможны выбросы в атмосферу. Экология подготовки газа включает в себя проблемы загрязнения атмосферы, гидросферы и литосферы.

Защита селитебной зоны

Для промышленных объектов и производств, сооружений, являющихся источниками воздействия на среду обитания и здоровье человека устанавливаются следующие ориентировочные размеры санитарно-защитных зон:

- промышленный объект по подготовке и переработке нефти и газа относится к первому классу опасности - 1000 м.

В таблице 16 представлены рекомендуемые минимальные расстояния от магистральных трубопроводов для транспортирования нефти и газа [35].

Таблица 16 - Рекомендуемые минимальные расстояния от магистральных трубопроводов для транспортирования нефти и газа по СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200–03

| Элементы застройки | Расстояние в м при диаметре труб, мм | | | |
|------------------------------|--------------------------------------|---------|----------|-----------|
| | До 300 | 300-600 | 600-1000 | 1000-1400 |
| Города и поселки | 75 | 100 | 150 | 200 |
| Отдельные малоэтажные жилища | 50 | 50 | 75 | 100 |
| Гидротехнические сооружения | 300 | 300 | 300 | 300 |
| Водозаборы | 3000 | 3000 | 3000 | 3000 |

Воздействие объекта на атмосферу

Основные источники загрязнения это выбросы вредных веществ в атмосферу с факела. При сжигании попутного нефтяного газа на факелах в атмосферу выбрасывается большое количество загрязняющих веществ [36]:

- Диоксид азота;
- Углерод черный (сажа);

- Оксид углерода;
- Метан;
- Бензапирен.

С целью охраны воздушного бассейна, выполняются следующие технологические мероприятия, обеспечивающие минимальные выбросы в атмосферу:

- установка трубных расширителей на факельном газопроводе с целью исключения сгорания жидких фракций углеводородов на факеле;
- Перед подачей газа на факела, использовать очистку газа от токсичных веществ.

Воздействие объекта на гидросферу

Загрязненные стоки на УПСВ-8 образуются за счет конденсации насыщенного водяного пара, используемого для пропарки оборудования, либо при разгерметизации трубопроводов и оборудования.

Для предотвращения попадания вредных веществ в водоемы за пределы производственной площадки, предусмотрено:

- Обвалование площадок, где возможен разлив продукта;
- Дренажные емкости для сбора возможных разливов продукта и загрязнения при этом дождевых и талых вод и последующем отведении их в систему ППД для совместного использования в технологическом процессе;.

Сточные воды канализации проходят механическую очистку и доочистку на биологических очистных сооружениях завода [37].

Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Данное производство является объектом техногенной опасности, т.е. объектом, на котором хранят, перерабатывают, используют или транспортируют опасные химические вещества, при аварии на котором или при разрушении которого может произойти гибель или химическое заражение людей, растений, а также химическое заражение окружающей среды В состав установки входят опасные производственные объекты (насосы, емкости, резервуары, печи, сепараторы, компрессоры), так и линейные (различные трубопроводы).

Возможны различные аварийные ситуаций: разгерметизация оборудования, трубопроводов, пожары - как следствие взрывов (табл. 17) [38].

Таблица 17 - Возможные виды аварийного состояния производства и способы их устранения

| Возможные производственные аварийные ситуации | Причины возникновения производственных аварийных ситуация | Действия персонала по предупреждению и устранению производственных аварийных ситуаций |
|--|--|--|
| Взрывы, пожары, разгермитизация трубопровода | Несоблюдение режима ведения процесса, разгерметизация оборудования и трубопроводов, разлив взрыво- пожароопасных веществ | <ol style="list-style-type: none"> 1. Необходимо вызвать пожарную охрану и бригаду скорой помощи; 2. Включение звуковой аварийной сигнализации. 3. Перекрыть подачу теплоносителя. Прекратить подачу сырья. 4. Сброс давления на факел. 5. Остановка остального оборудования. |
| Протечки в запорно-регулирующей арматуре или в аппаратах | Разгерметизация запорно- регулирующей арматуры или аппаратов | <ol style="list-style-type: none"> 1. Сообщить начальнику цеха или мастеру установки; 2. Ликвидация протечек с остановкой оборудования (если не возможно устранить по другому) 3. Ликвидировать протечки без остановки оборудования. |
| Сбой системы электроснабжения | Неполадки в системе электроснабжения | <ol style="list-style-type: none"> 1. Сообщить начальнику цеха или мастеру установки; 2. Перекрыть подачу топлива к горелкам печей. 3. Подать азот в систему аварийного пажаротушения печей. 4. Проконтролировать отключение всего насосно-компрессорного оборудования. |
| Повышенная вибрация насосного оборудования | Неправильная центровка электродвигателя с насосом | Отцентрировать насос |

7.9 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

1. На тяжелых и физических работах с вредными (особо вредными), опасными (особо опасными) условиями труда запрещается применение труда женщин.

2. Лицам, не достигших восемнадцатилетнего возраста, работа с вредными (особо вредными), опасными (особо опасными) условиями труда запрещается.

3. При приеме на работу с вредными (особо вредными), опасными (особо опасными) условиями труда проводится обязательные медицинские осмотры работников [39].

Таким образом, при отнесении условий труда к вредными (особо вредными), опасными (особо опасными) работникам, занятым на рабочем месте, которое относится к вредными (особо вредными), опасными (особо опасными) должны предоставляться компенсации не ниже предусмотренных постановлением Правительства РФ от 20.11.2008 № 870.

В соответствии с п. 1 данного постановления работникам, занятым на перечисленных видах работ, установлены следующие компенсации:

- сокращенная продолжительность рабочего времени - не более 36 часов в неделю в соответствии со ст. 92 ТК РФ;
- ежегодный дополнительный оплачиваемый отпуск - не менее 7 календарных дней;
- повышение оплаты труда - не менее 4% тарифной ставки (оклада), установленной для различных видов работ с нормальными условиями труда [39].

Заключение

Цель данной работы заключалась в том, чтобы оптимизировать затраты на электроэнергию объектов подготовки и перекачки нефти. В результате работы цель была достигнута. Был выбран альтернативный источник энергии – тепловая энергия нефти, добываемой на объекте. Также был подобран и рассчитан аппарат, при помощи которого будет производиться теплопередача в систему отопления.

В ходе работы, как уже было сказано, подобрали кожухотрубный теплообменник с неподвижной трубной решеткой. Произвели механический расчет всех отдельных узлов теплообменного аппарата. Результатом данных расчетов является то, что на всех отдельных узлах выполняются проверки критериев надежности (прочность, жесткость).

Также был рассчитан отстойник горизонтальный ОГ-200. Расчет данного сосуда был аналогичен расчету теплообменного аппарата, так как в конструкцию отстойника входят похожие узлы.

После проведения расчетов была произведена оценка экономической эффективности внедрения теплообменной установки для отапливания производственных и непроизводственных помещений. В результате оценки пришли к выводу о том, что внедрение данного агрегата будет экономически целесообразным, а срок окупаемости с учетом амортизации и коэффициента дисконтирования составит 2 года и 4 месяца. В случае, если внедрение будет производиться одновременно на нескольких объектах, окупаемость будет меньше.

Проанализировав нормативно-техническую документацию, действующие стандарты, ГОСТы, а также санитарные нормы и правила, выявили опасные и вредные факторы, которые имеются на рабочем месте объектов подготовки и перекачки нефти, и, конечно, влияние, оказываемое на окружающую среду. Согласно этим же источникам были определены

способы защиты персонала от имеющихся опасных и вредных факторов, а также способы защиты окружающей среды.

Список научных трудов

Список научных трудов студента 2 курса магистратуры Инженерной Школы
Новых Производственных Технологий Томского политехнического
университета, Чистякова Евгения Александровича

| № | Наименование научного труда | Руко- писн. или печ. | Издательство, журнал (номер, год) | Номер стр. | Кол-во стр. | Фамилии соавторов |
|---|--|-------------------------------|--|---------------|----------------|----------------------------|
| 1 | Энергосбережение при оптимизации системы отопления на объектах управления подготовки нефти и газа | Печ. | Проблемы геологии и освоения недр: труды XXI Международного симпозиума имени академика М.А. Усова студентов и молодых ученых, посвященного 130-летию со дня рождения профессора М.И.Кучина. Том II/ Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2017. – 1074 с. | 214- 215 | 2 | Беляев В.М. ТихоновВ.В. |
| 2 | Рациональное использование ресурсов на объектах управления подготовки нефти и газа | Печ. | Материалы XVIII Международной научно-практической конференции студентов и молодых ученых «Химия и химическая технология в XXI веке». – Томск, 2017. | 426- 427 | 2 | Беляев В.М. ТихоновВ.В. |

Список использованной литературы

1. Renewable Energy for industry/ International energy agency. Insights series 2017/ Cedric Philibert/ France.
2. Heat from Renewable Energy Sources/ The RES-H initiative and related Directives/ VHK nr. 332, 5 Sept. 2002.
3. International Journal of Engineering Trends and Technology (IJETT) – Volume4 Issue6 – June 2013/ Solar Energy: The Future.
4. Journal of Clean Energy Technologies, Vol.1, No. 3, Jule 2013/ Environmental Impacts of Wind Energy.
5. Reproduced with permission from Energy for Sustainable Development/ Biomass energy in China and its potential.
6. The Future of Geothermal Energy/ impact of Enhanced Geothermal Systems (EGS) on the United States in the 21st Century/ 2006 Massachusetts Institute of Technology.
7. О.К. Семакина/ Машины и аппараты химических производств/Учебное пособие. Часть 1/ Томский политехнический университет – Томск, 2003. – 118 с.
8. Результаты анализов химико-аналитической лаборатории
9. Павлов К.Ф, Романков П.Г., Носков А.А. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии: Учебное пособие для вузов — 14-е изд., стереотипное. - М.: ООО ИД «Альянс», 2007. - 576 с.
10. Аппараты теплообменных кожухотрубчатые с неподвижными трубными решетками и кожухотрубчатые с температурным компенсатором на кожухе по ТУ 3612-024-00220302-02
11. Сортамент ГОСТ 8732-78 «Трубы стальные бесшовные горячедеформированные».
12. Дытнерский Ю.И. Основные процессы и аппараты химической технологии: Пособие по проектированию - 5-е изд., стереотипное. - М.: ООО ИД «Альянс», 2010. — 496 с.

13. Национальный стандарт Российской Федерации ГОСТ Р 52857.2 2007 «Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность».
14. Национальный стандарт Российской Федерации ГОСТ Р 52857.1 2007 «Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Общие требования».
15. Правила устройства и безопасной эксплуатации сосудов, работающих под давлением/ ПБ 03-576-03. 2008 г.
16. Национальный стандарт Российской Федерации ГОСТ Р 52857.3 2007 «Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность».
17. Лашинский А.А., Толчинский А.Р. Основы конструирования и расчета химической аппаратуры. – М.: ООО ИД «Альянс», 2008. – 752 с.
18. Михалев М.Ф. расчет и конструирование машин и аппаратов химических производств. Примеры и задачи. Ленинград «Машиностроение» 1984 г.
19. Технологический расчет и подбор стандартного оборудования для установок системы сбора и подготовки скважинной продукции: учебное пособие/ Леонтьев С.А. Галикеев Р.М. Тарасов М.Ю. – Тюмень: ТюмГНГУ, 2015.- 124 с.
20. Технологический регламент. Участок предварительной подготовки нефти (УПСВ Южно-Черемшанского месторождения).
21. ГОСТ 12.2.085 – 2002. Сосуды, работающие под давлением. Клапаны предохранительные. Требования безопасности.
22. ОСТ 26-2091-93. Опоры горизонтальных сосудов и аппаратов. Конструкция.
23. СанПиН 2.1.4.2496-09. «Гигиенические требования к обеспечению безопасности систем горячего водоснабжения. Изменение к СанПиН 2.1.4.1074-01».
24. СНиП 41-01-2003 "Отопление, вентиляция и кондиционирование".
25. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение: учебно-методическое пособие /Креницына З.В.,

- Видяев И.Г.; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. – 73 с.
26. Генеральное соглашение между общероссийскими объединениями профсоюзов, общероссийскими объединениями работодателей и Правительством Российской Федерации на 2014 - 2016 годы от 25 декабря 2013 г. [Электронный ресурс]: - Режим доступа [www.URL: http://www.rg.ru/2013/12/30/a904631-dok.html](http://www.rg.ru/2013/12/30/a904631-dok.html).
 27. ГОСТ 12.0.002–80 (с изм. №1) ССБТ. Термины и определения.
 28. ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.
 29. СанПиН 2.2.4.584-96 Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.
 30. ГОСТ 12.1.003–83. Шум. Общие требования безопасности. [Текст].- введ. 01.07.1984.- М.: Стандартинформ, 2008. – 13 с.
 - 31.СНиП 23-05-95 Естественное и искусственное освещение.
 - 32.ГОСТ 12.1.019-79 Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.
 - 33.ГОСТ 12.1.004. – 91. Пожарная безопасность. Общие требования.
 - 34.Горячев С.А.,Клубань В.С.Пожарная профилактика технологических процессов производств. М.: ВИПТШ МВД СССР, 1983.
 - 35.СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200–03. Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и иных объектов.
 - 36.ГН 2.1.6.1338 – 03. Предельно-допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест.
 - 37.ГОСТ 17.1.3.13–86. Охрана природы. Гидросфера. Общие требования к охране поверхностных вод от загрязнений.
 - 38.ГОСТ Р 22.9.22. – 2014. Безопасность в чрезвычайных ситуациях.
 - 39.ТК РФ. Трудовой кодекс РФ.

Приложение А
Форма титульного листа приложения для раздела ВКР,
выполненного на иностранном языке

Приложение (1)

Раздел (1)

Оптимизация энергосбережения объектов подготовки и перекачки

Студент:

| Группа | ФИО | Подпись | Дата |
|---------------|--------------------------------|----------------|-------------|
| 4КМ61 | Чистяков Евгений Александрович | | |

Консультант школы ИШНПТ :

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|------------------|-----------------------|-------------------------------|----------------|-------------|
| Доцент | Игна Ольга Николаевна | Доктор пед.наук, доцент | | |

Консультант – лингвист школы ИШНПТ :

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|------------------|-----------------------|-------------------------------|----------------|-------------|
| Доцент | Игна Ольга Николаевна | Доктор пед.наук, доцент | | |

Literature review

Energy is the most important component of everything that surrounds us. There would be nothing without energy. Energy was needed for the planets' formation, for the emergence of life on Earth, energy was also needed for the emergence of animate and inanimate nature on our planet, energy plays the central role in sustaining life on Earth. I repeat, energy is the most important component of the world around us. And today people should look for energy resources and use them to support life on Earth.

Since ancient times man use primitive energy resource - wood. People lit the wood to keep warm and cook food. Thus they received thermal energy, without even knowing it. During evolution, people found new resources of energy, learnt to convert them into different types of energy, learnt to make various items used in human life from the energies.

And today, in the XXI century, people use such basic resources of energy as wood, coal, gas, oil, water. But, unfortunately, all of them are non-renewable resources. More precisely, they are renewable, but their renewal will take more than one million years. Therefore, it is time for mankind to think about alternative energy resources which will replace all of the above materials.

Due to the described above problem, in this paper we offer to replace partially the use of electricity in the preliminary water discharge unit (PWDU) by the alternative resource: we can use the heat from the oil produced from the fields to warm the industrial and non-productive premises. Today the heat from the produced oil goes into the atmosphere, although it could be used for the purpose intended. So it is possible to save both energy resources and outlay cost for electricity.

But there are also other alternative energy resources that also could be used at the facility: solar energy, wind energy, biomass energy, geothermal energy, tidal energy.

Let's consider the sun energy. Today it becomes quite popular to use the energy of the sun to generate electricity. The solar batteries were invented long time ago. They can provide us electricity due to the generation of sunlight into electric current. Moreover, the ambient temperature is not important, it is important that the sun shone. The less clouds are in the sky the more electricity will be generated.

Considering the fact that the PWDU is located in the north latitudes, the efficiency of solar batteries will be higher, because the ambient temperature is quite low, that is why the natural cooling of the batteries takes place. That is necessary for the battery work. But also it is necessary to take into account the fact that the sun shines in these latitudes less than in other latitudes. With regard to sediments, they haven't a negative impact on the efficiency of solar batteries. The staff needn't have any special skills and knowledge to maintain such batteries. It is

necessary to adjust the angle of inclination of the batteries, and also to monitor the cleanliness of the photocell surface. Considering all the pros and cons of this method of power generation, it should be noted that this method could be used.

Now let's consider the method of power generation from the wind. In the example described above, the special batteries were used. In this case wind generators are used. The procedure works as follows: the force of the wind brings into action the blades of the wind generator, which makes the rotor run through a special drive unit. And due to the availability of a stator winding, the mechanical energy transforms into the electric current. Aerodynamic characteristics of the screws allow to turn quickly the turbine of the generator. So, let's consider pros and cons of this method of power generation. First of all, we should say that wind generators are absolutely safe and environmentally friendly. 20 kW class wind generator can generate enough electricity to power a small village, a recreation center or even a factory. The generator system is quite simple, there is no need to fuel it up, there is no any accumulation of waste, and the service life is quite long. But, unfortunately, such plants also have some disadvantages: today we cannot control the nature and the wind, as a result we will not be able to provide permanent air flow. That is the key factor and it can affect the productivity of the wind generator. Considering the fact that an object, that needs electricity, is located in non – residential area and in those latitudes where the winds prevail most of the time, such installation will completely satisfy power needs of the object.

The next way to generate electricity is biomass energy. The method implies that domestic waste is burned in special furnaces and generated heat energy is generated into electric energy. We should underline that this method is not suitable for us, because the amount of waste generated cannot give enough electric power, and the method itself is environmentally unsafe.

The way to generate electric power from tidal energy is also not suitable for our area, because the object is located in the north latitudes, and there are no seas nearby. But the method itself, as an alternative source of energy, could be used in other more adapted areas. It can save significant amounts on electricity costs.

One more resource of alternative energy is geothermal energy or, in plain language, the thermal energy of the Earth. The energy resource is inexhaustible and renewable one. Thermal energy is in the external environment; it is almost an unlimited reservoir for heat transfer. That energy is transferred with the help of heat pumps. There are many theories about the pumps and their efficiency and cost effectiveness. Let's consider that information from the point of renewability of resources and their environmental friendliness. We've already mentioned that the thermal energy of the Earth is an unlimited resource of energy and the transfer of such energy to people is safe and environmentally friendly. But as regards economic benefits and the

appropriateness of using such a resource, we should say that the usage of such pumps in the north latitudes of the Earth is not appropriate. The installation of a heat pump with all its components will cost 10-12 times more expensive than a traditional heating system which uses a classical boiler. The payback of the same heat pumps in the area will be at least 12-15 years. It should be noted that if the heat pump is installed in the regions of the extreme north, it will heat the room till 10-12 ° C and that is the maximum temperature. And of course that is not enough. Therefore, it is necessary to use a combined method of heating the premises, which will also bring additional costs. In view of the foregoing, we conclude that heat pump usage is irrational, and also unacceptable for our area.

Analyzing the alternative methods of getting energy, we've come to the conclusion that the chosen method of heating the premises would be the most efficient, rational and economically beneficial.

Next, we consider the heat exchange installations which would be the most suitable ones for such operating conditions.

There is a number of basic heat exchangers which are used in modern industry: tube heat exchangers, pipe in pipe, coiled heat exchanger, brazed plate heat exchangers. And now let's consider their advantages and disadvantages.

Let's consider coiled heat exchangers. The heat exchangers of this type are used mainly in the chemical industry for heat exchange between media, one of which is under pressure. Coiled heat exchangers can be made of half-pipes and angles. The coiled heat exchanger is immersed in a vessel with a liquid operating medium. Another liquid or gaseous medium under pressure is flown through the pipes. The heat exchangers of that type are characterized by a good capacity for self-compensation of the temperature stresses and low hydraulic resistance. The main disadvantage of the exchanger is the complexity of manufacturing and installation of the construction.

The next type of the heat exchanger is the pipe in the pipe exchanger. Such heat exchangers can be composable or indecomposable, single- and multithreaded. Such heat exchangers are very suitable for heat exchange between such media as liquid-liquid. The construction of the composable multithreaded heat exchanger "pipe in the pipe» resembles tube heat exchangers of the type Y. The multithreaded heat exchangers have two moves along the inner tubes and two moves along the outer tubes. The mechanisms are made for conditional pressure of 2.5 and 4 MPa.

Brazed plate heat exchangers have a high heat transfer coefficient. However, they are very meticulous in servicing and they cannot be operated with all the mediums. Heat carriers should be free from mechanical contamination, because the distance between the plates is quite

small, that can lead to a rapid clogging of the channels. Also, the rubber seals between the plates can quickly lose their properties, what leads to frequent stops of the mechanism for replacing rubber seals. Also, we should pay attention to the pressure triggering a brazed plate heat exchanger, because a kick start can cause deformation of the plates, leading to a damage of the mechanism. In general, brazed plate heat exchangers are simple to operate and easy to maintain.

The tube heat exchangers are most commonly used in modern industry, because they have simple design, they are not meticulous to heat carriers, and also easily repaired and serviced. The tube heat exchangers are also subdivided into a several types: with a stationary tube grid, with a temperature compensator, with air - floating head, with y-shaped tubes. The heat exchangers of such types as "with a stationary tube grid" and "with an air - floating head" are used in those cases when the heat carriers have a high temperature, as a result the temperature expansion of the metal stem of the apparatus and the tube bundle is possible. The advantage of the "y-shaped tubes" heat exchanger is that decapsulation of the mechanism for decontaminating of the tube bundle is possible. The heat exchanger of the TK type has the simplest design. Mainly it is used when the heat carriers haven't got high temperatures and mechanical impurities.