

Министерство науки и высшего образования 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**

**МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ**

| Тема работы  |
|--|
| <b>Участок предварительной подготовки нефти на Первомайском месторождении с разработкой основного оборудования</b> |

УДК 622.276.8.002.5(571.16)

Студент

| Группа | ФИО                     | Подпись | Дата |
|--------|-------------------------|---------|------|
| 4КМ61  | Галеев Вильям Рашитович |         |      |

Руководитель

| Должность | ФИО           | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|-----------|---------------|------------------------|---------|------|
| Доцент    | Семакина О.К. | К.Т.Н.                 |         |      |

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

| Должность        | ФИО            | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|------------------|----------------|------------------------|---------|------|
| Доцент ОСГН ШБИП | Креницына З.В. | К.Т.Н., доцент         |         |      |

По разделу «Социальная ответственность»

| Должность                                  | ФИО             | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|--|-----------------|------------------------|---------|------|
| Профессор отделения контроля и диагностики | Ахмеджанов Р.Р. | д.б.н., профессор      |         |      |

По разделу «Конструктивно-механический раздел»

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

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

| Руководитель<br>НОЦ Н.М. Кижнера | ФИО                | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|----------------------------------|--------------------|------------------------|---------|------|
| профессор                        | Краснокутская Е.А. | д.х.н., профессор      |         |      |

Томск – 2018 г.

## Запланированные результаты обучения по ООП 18.04.02 в 2018 г.

| Код результата | Формулировка цели   |
|----------------|---|
| P1             | способность к абстрактному мышлению, анализу, синтезу   |
| P2             | готовность действовать в нестандартных ситуациях, нести социальную и этическую ответственность за принятые решения  |
| P3             | готовность к саморазвитию, самореализации, использованию творческого потенциала   |
| P4             | готовность к коммуникации в устной и письменной формах на русском и иностранном языках для решения задач профессиональной деятельности  |
| P5             | готовность руководить коллективом в сфере своей профессиональной деятельности, толерантно воспринимая социальные, этнические, конфессиональные и культурные различия                                    |
| P6             | способность к профессиональной эксплуатации современного оборудования и приборов в соответствии с направлением и профилем подготовки  |
| P7             | готовность к использованию методов математического моделирования материалов и технологических процессов, к теоретическому анализу и экспериментальной проверке теоретических гипотез                    |
| P8             | готовность к защите объектов интеллектуальной собственности и коммерциализации прав на объекты интеллектуальной собственности   |
| P9             | способность формулировать научно-исследовательские задачи в области реализации энерго- и ресурсосбережения и решать их  |
| P10            | способность организовать самостоятельную и коллективную научно-исследовательскую работу   |
| P11            | готовность к поиску, обработке, анализу и систематизации научно-технической информации по теме исследования, выбору методик и средств решения задачи  |
| P12            | способность использовать современные методики и методы, в проведении экспериментов и испытаний, анализировать их результаты и осуществлять их корректную интерпретацию;                                 |
| P13            | способность составлять научно-технические отчеты и готовить публикации по результатам выполненных исследований  |
| P14            | готовность разрабатывать математические модели и осуществлять их экспериментальную проверку   |
| P15            | готовность к разработке мероприятий по энерго- и ресурсосбережению, выбору оборудования и технологической оснастки  |
| P16            | готовность к разработке технических заданий на проектирование и изготовление нестандартного оборудования  |
| P17            | способность к анализу технологических процессов с целью повышения показателей энерго-и ресурсосбережения, к оценке экономической эффективности технологических процессов, их экологической безопасности |
| P18            | способность оценивать инновационный и технологический риски при внедрении новых технологий  |
| P19            | способность разрабатывать мероприятия по комплексному использованию сырья, по замене дефицитных материалов  |
| P20            | способность создавать технологии утилизации отходов и системы обеспечения экологической безопасности производства   |
| P21            | способность оценивать экономические и экологические последствия принимаемых организационно-управленческих решений   |
| P22            | готовность к организации работы коллектива исполнителей, принятию   |

| Код<br>результата | Формулировка цели  |
|-------------------|--|
|                   | решений и определению приоритетности выполняемых работ   |
| P23               | способность находить оптимальные решения при создании продукции с учетом требований качества, надежности, стоимости и экологической безопасности производств   |
| P24               | способность использовать современные системы управления качеством в конкретных условиях производства на основе международных стандартов  |
| P25               | готовность разрабатывать информационные системы планирования и управления предприятием   |
| P26               | способность к проектной деятельности в профессиональной сфере на основе системного подхода и использования моделей для описания и прогнозирования ситуаций, осуществления качественного и количественного анализа процессов в целом и отдельных технологических стадий |
| P27               | способность формулировать задания на разработку проектных решений  |
| P28               | готовность к проведению патентных исследований с целью обеспечения патентной чистоты новых проектных решений и определения показателей технического уровня проекта   |
| P29               | способность проводить технические и технологические расчеты по проектам, технико-экономической, функционально-стоимостной и эколого-экономической эффективности проекта  |
| P30               | готовность к оценке инновационного потенциала проекта  |
| P31               | способность использовать пакеты прикладных программ при выполнении проектных работ   |
| P32               | способность разрабатывать методические и нормативные документы, техническую документацию, а также предложения и мероприятия по реализации разработанных проектов и программ  |
| P33               | готовность к разработке учебно-методической документации для обеспечения учебного процесса   |
| P34               | готовность к постановке новых лабораторных работ и проведению практических занятий   |

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального 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 НОЦ Н.М. Кижнера

\_\_\_\_\_ Е.А. Краснокутская  
(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                        |
|--------|----------------------------|
| 4КМ61  | Галееву Вильяму Рашитовичу |

Тема работы:

Участок предварительной подготовки нефти на Первомайском месторождении с разработкой основного оборудования

Утверждена приказом директора (дата, номер) 23.03.2018г. №2085/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

| Исходные данные к работе  |   |
|---|---|
| <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i> | Участок предварительной подготовки нефти на Первомайском месторождении.<br>Вид сырья – нефть с кустов.<br>Технологические параметры работы нефтегазосепаратора:<br>Рабочее давление в сепараторе: $p = 0.4$ МПа;<br>Рабочая температура: $t_{раб} = -40-100$ °С;<br>Производительность: по нефтяной эмульсии $Q_{ж} = 30000$ м <sup>3</sup> /сутки; по газу $Q_{г} = 1700$ м <sup>3</sup> /сутки.<br>Обводненность нефти 55%. От общей смеси нефтяная эмульсия и газ составляют 94,6 % и 5,4 %, соответственно.<br>Технологические параметры работы нефтегазового |

|   |   |
|---|---|
|   | отстойника:<br>Рабочее давление в отстойнике: $p = 0.6$ МПа;<br>Рабочая температура: $t_{\text{раб}} = -40-100$ °С;<br>Производительность: по нефтяной эмульсии $Q_{\text{ж}} = 15000$ м <sup>3</sup> /сутки; В общей смеси нефть и вода составляют 45 % и 55 %, соответственно.  |
| <b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b><br><br><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> | Реферат<br>Введение<br>1. Описание технологической схемы<br>2. Расчет нефтегазосепаратора<br>3. Расчет нефтегазового отстойника<br>4. Разделение водонефтяных эмульсий<br>5. Разработка методики расчета защиты нефтегазового сепаратора от превышения давления.<br>6. Социальная ответственность.<br>7. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение<br>Заключение<br>Список литературы<br>Приложение |
| <b>Перечень графического материала</b><br><br><i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>   | Лист 1. Технологическая схема. (А1)<br>Лист 2. Нефтегазовый сепаратор. Чертеж общего вида. (А1)<br>Лист 3. Нефтегазовый сепаратор. Выносные элементы. (А1)<br>Лист 4. Нефтегазовый отстойник. Чертеж общего вида. (А2х3)<br>Лист 5. Нефтегазовый отстойник. Выносные элементы. (А1)<br>Лист 6. Планирование и затраты на НИР. (А1)  |
| <b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b><br><br><i>(с указанием разделов)</i>  |   |
| <b>Раздел</b>   | <b>Консультант</b>  |
| Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение   | к.т.н., доцент Криницына З.В.   |
| Социальная ответственность  | д.б.н., профессор Ахмеджанов Р.Р.   |
| Конструктивно-механический раздел   | к.т.н. доцент Беляев В.М.   |
| <b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</b>   |   |
| Разделение водонефтяных эмульсий  |   |

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

**Задание выдал руководитель:**

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

**Задание принял к исполнению студент:**

| Группа | ФИО         | Подпись | Дата |
|--------|-------------|---------|------|
| 4КМ61  | Галеев В.Р. |         |      |

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА  
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

|               |                         |
|---------------|-------------------------|
| <b>Группа</b> | <b>ФИО</b>              |
| 4КМ61         | Галеев Вильям Рашитович |

|                     |              |                           |  |
|---------------------|--------------|---------------------------|--|
| <b>Институт</b>     | <b>ИШНПТ</b> | <b>Кафедра</b>            | <b>НОЦ им. Кижнера</b>   |
| Уровень образования | Магистр      | Направление/специальность | 18.03.02 Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии |

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

|  |   |
|--|---|
| 1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения | <p align="center"><i>Объектом исследования является оборудование участка предварительной подготовки нефти, а именно нефтегазовый сепаратор и отстойник.</i></p> <p align="center"><i>Область применения – предварительная подготовка нефти на УПСВ-1 «центр» Первомайского месторождения.</i></p> |
|--|---|

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

|   |  |
|---|--|
| <p><b>1. Производственная безопасность</b></p> <p>1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой;</li> <li>– действие фактора на организм человека;</li> <li>– приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ);</li> <li>– предлагаемые средства защиты;</li> <li>– (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства).</li> </ul> <p>1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации</p> | <p><i>1.1 Утечки токсичных и вредных веществ в атмосфере; Главным источником формирования данного фактора является возможная разгерметизация трубопроводов или оборудования при проведении сливноналивных операций, что может вызвать отравление парами углеводородов. Нефть и нефтепродукты содержат легкоиспаряющиеся вещества, опасные для здоровья и жизни человека.</i></p> <p><i>-Пары обладают наркотическим действием; вызывают отравление; при контакте с кожей возможна пигментация. Оказывает</i></p> |
|---|--|

проектируемого решения в следующей последовательности:

- механические опасности (источники, средства защиты);
- термические опасности (источники, средства защиты);
- электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты)

*физиологическое воздействие, напоминающее опьянение.*

*-Предельно- допустимая концентрация веществ в воздухе рабочей зоны 300 мг/м<sup>3</sup> (ГОСТ 12.1.005- 88).*

*-Для защиты кожи рук применяют защитные рукавицы, мази и пасты по ГОСТ 12.4.068. Для защиты глаз использовать очки типа ЭП2-80.*

*-Для коллективной защиты от воздействия паров нефти помещения, в которых проводят работы, должны быть снабжены приточно-вытяжной вентиляцией с механическим побуждением, отвечающей требованиям ГОСТ 12.4.021. В местах возможного выделения химических веществ в воздух рабочей зоны должны быть оборудованы местные вытяжные устройства.*

*- При эксплуатации электроприборов и электрооборудования возможно воздействие на рабочих следующих опасных производственных факторов: поражение электрическим током при прикосновении к токоведущим частям; неисправность изоляции или заземления; искрение; возгорание. При обслуживании агрегатов и механизмов с электроприводом необходимо вести постоянный контроль: - работы электродвигателя, вибрации, температурой элементов и охлаждающих сред электродвигателя*

|  |  |
|--|--|
|  | <p>(температурой подшипников, воздуха и т.д.); - наличия кожухов на вращающихся частях агрегатов, целостностью защитного заземления электродвигателя, токопроводящих проводов, кабелей и кнопок управления; - работоспособности вентиляции, наличие и достаточность освещения.</p> <p>- <b>Взрывопожароопасность.</b> Главным источником формирования данного фактора является возможность возникновения заряда статического электричества вследствие трения слоев нефти (конденсата) друг о друга или со стенкой трубы (оборудования). Средства защиты: - заземление резервуаров, цистерн, трубопроводов;</p> <p>- снижение интенсивности генерации зарядов статического электричества путем уменьшения скорости налива при правильном подборе диаметра трубопровода.</p> <p>- Механические опасности не возникают так как не происходит движения частей механизмов</p> |
| <p><b>2. Экологическая безопасность:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- защита селитебной зоны</li> <li>- анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы);</li> <li>- анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы);</li> <li>- анализ воздействия объекта на литосферу (отходы);</li> <li>- разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды.</li> </ul> | <p>- После проведения оценки воздействия производственной деятельности на окружающую среду согласно СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03 принимаем ориентировочный размер санитарно-защитной зоны: Класс I – санитарно-защитная зона 1000 м.</p> <p>- Основные источники загрязнения при подготовки нефти это выбросы вредных</p>  |

веществ в атмосферу с факела. При сжигании попутного нефтяного газа на факелах высокого и низкого давления в атмосферу выбрасывается большое количество загрязняющих веществ: 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 на абсорбционных установках.

- Загрязненные стоки на установке подготовки нефти (УПН) образуются за счет конденсации насыщенного водяного пара, используемого для пропарки оборудования, либо при отгрузке нефти. Сточные воды канализации проходят механическую очистку и доочистку на биологических очистных сооружениях завода.

- На предприятии только в процессе глубокого обессоливания и обезвоживания нефти выделяется около 26-30т. твердых солей и механических примесей, содержащих в своем составе до 35% смеси углеводородов и 35-60% воды. Таким образом,

|  |   |
|--|---|
|  | <p><i>нефтеперерабатывающее предприятие "вырабатывают" более 100 т в сутки твердых, нефтесодержащих и пожароопасных отходов. Вывоз на специально отведенное место для захоронения..</i></p> <p>-</p>  |
| <p><b>3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- перечень возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения;</li> <li>- выбор наиболее типичной ЧС;</li> <li>- разработка превентивных мер по предупреждению ЧС;</li> <li>- разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий.</li> </ul> | <p>- Взрывы, пожары, разгерметизация трубопровода, протечки в запорно-регулирующей арматуре или в аппаратах, сбой системы электроснабжения, увеличение содержания нефтепродуктов в подтоварной воде, повышенная вибрация насоса, давление на приеме насоса ниже нормы.</p> <p>-Пожар.</p> <p>-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.</p> <p>- Для защиты жизни и здоровья сотрудников в случае возникновения пожара следует применять следующие основные мероприятия гражданской обороны: укрытие людей в приспособленных под нужды защиты населения помещениях производственных,</p> |

|  |  |
|--|--|
|  | <p><i>общественных и жилых зданий, а также в специальных защитных сооружениях; эвакуацию населения из зон ЧС; использование средств индивидуальной защиты органов дыхания и кожных покровов; проведение мероприятий медицинской защиты; проведение аварийно-спасательных и других неотложных работ в зонах ЧС.</i></p>   |
| <p><b>4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства;</li> <li>– организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.</li> </ul> | <p><i>Требования по охране недр установлены законодательными и нормативными документами федерального уровня, основные из которых приведены ниже:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Конституция Российской Федерации;</li> <li>- Закон Российской Федерации «О недрах»;</li> <li>- «Правила охраны недр»;</li> <li>- «Правила безопасности в нефтяной и газовой промышленности».</li> </ul> <p>В соответствии с действующим законодательством оператору ТУ выдаются специальная одежда, специальная обувь и другие средства индивидуальной защиты, предусмотренные типовыми отраслевыми нормами. На рабочем месте должны быть запасы сырья и материалов, не превышающие сменную потребность. Необходимо знать специфические свойства применяемых веществ и соблюдать установленные правила работы с ними. Производственный процесс должен быть организован так, чтобы не допускать выделения в воздух рабочей зоны пыли и вредных веществ.</p> |

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

**Задание выдал консультант:**

| Должность  | ФИО             | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|--|-----------------|------------------------|---------|------|
| Профессор отделения контроля и диагностики ИШНКБ | Ахмеджанов Р.Р. | д.б.н., профессор      |         |      |

**Задание принял к исполнению студент:**

| Группа | ФИО                     | Подпись | Дата |
|--------|-------------------------|---------|------|
| 4КМ61  | Галеев Вильям Рашитович |         |      |

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА  
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОС-  
БЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

|               |                         |
|---------------|-------------------------|
| <b>Группа</b> | <b>ФИО</b>              |
| 4КМ61         | Галеев Вильям Рашитович |

|                            |              |                                  |   |
|----------------------------|--------------|----------------------------------|---|
| <b>Институт</b>            | <b>ИШНПТ</b> | <b>Кафедра</b>                   | <b>НОЦ им. Кижнера</b>  |
| <b>Уровень образования</b> | Магистр      | <b>Направление/специальность</b> | 18.03.02 Энерго- и<br>ресурсосберегающие<br>процессы<br>химической<br>технологии,<br>нефтехимии<br>и<br>биотехнологии |

|   |  |
|---|--|
| <b>Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:</b>   |  |
| 1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>   | <i>Затраты на специальное оборудование -10200 руб.;</i><br><i>Затраты на оплату труда работников, непосредственно занятых созданием НИОКР – 308182.175 руб.</i><br><i>Страховой взнос-72623.7 руб.</i><br><i>Затраты на электроэнергию – 28.35 руб.</i><br><i>Накладные расходы – 246545.74 руб.</i> |
| 2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>   | <i>Срок выполнения проекта – 6 месяца;</i><br><i>Дополнительная заработная плата – 15% от основной;</i><br><i>Районный коэффициент = 1,3;</i>  |
| 3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>  | <i>Ставка отчислений на социальные нужды – 27,1%</i>   |
| <b>Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:</b>   |  |
| 1. <i>Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ</i>  | <i>Оценочная карта конкурентных технических решений</i>  |
| 2. <i>Разработка устава научно-технического проекта</i>   | <i>Определение целей и результатов проекта, заинтересованных сторон, участников</i>  |
| 3. <i>Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок</i>  | <i>Построение календарного плана проекта, графика выполнения работ;</i><br><i>Расчет затрат на сырье, заработную плату, ПО</i>   |
| 4. <i>Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности</i>  | <i>Расчет интегральных показателей эффективности, оценка сравнительной эффективности проекта</i>   |
| <b>Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):</b>  |  |
| <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Потенциальные потребители результатов исследования</li> <li>2. Оценочная карта для сравнения конкурентных технических разработок</li> <li>3. Диаграмма Исикавы</li> <li>4. Бланк оценки степени готовности научного проекта к коммерциализации</li> <li>5. Перечень заинтересованных сторон проекта</li> <li>6. Цели и результаты проекта</li> <li>7. Рабочая группа проекта</li> <li>8. Ограничения проекта</li> <li>9. Иерархическая структура работ проекта</li> <li>10. Контрольные события проекта</li> <li>11. Календарный план проведения НИР по теме</li> </ol> |  |

12. Диаграмма Ганта
13. Специальное оборудование для проектных работ
14. Баланс рабочего времени
15. Расчёт основной заработной платы
16. Отчисления на социальные нужды
17. Заработная плата исполнителей НИОКР
18. Калькуляции плановой себестоимости НИР
19. Организационная структура проекта
20. Матрица ответственности
21. План управления коммуникациями проекта
22. Реестр рисков проекта
23. Иерархическая структура рисков
24. Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

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

**Задание выдал консультант:**

| Должность        | ФИО                         | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|------------------|-----------------------------|------------------------|---------|------|
| Доцент ОСГН ШБИП | Креницына<br>Зоя Васильевна | к.т.н., доцент         |         |      |

**Задание принял к исполнению студент:**

| Группа | ФИО                     | Подпись | Дата |
|--------|-------------------------|---------|------|
| 4КМ61  | Галеев Вильям Рашитович |         |      |

## Реферат

Магистерская диссертация состоит из пояснительной записки и 6 листов графического материала формата А1. Пояснительная записка содержит 175 страниц, 40 таблиц, 30 рисунков, 33 источников литературы, 1 приложение.

Целью работы является разработка основного оборудования установки подготовки нефти.

В разделах «Расчет нефтегазосепаратора» и «Расчет нефтегазового отстойника» приведены технологические расчеты для определения основных размеров аппаратов. Так же произведены расчеты на прочность, расчет укрепления отверстий, расчет фланцевых соединений, расчет массы аппарата и расчет опор.

В разделе «Социальная ответственность» рассмотрены опасные и вредные факторы на данном производстве, а так же вопросы по безопасному ведению технологического процесса.

В разделе «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» была рассчитана экономическая эффективность данной установки.

## Abstract

The master's thesis consists of an explanatory note. The explanatory note contains 175 pages, 40 tables, 30 figures and 33 sources.

The purpose of the work is to develop the main equipment of the oil treatment unit.

In the sections "Calculation of the oil and gas separator" and "Calculation of the oil and gas settler", technological calculations are made to determine the main dimensions of the apparatus. Also calculations were made for strength, calculation of hole reinforcement, calculation of flange connections, calculation of apparatus weight and calculation of supports.

In the section "Social Responsibility", hazardous and harmful factors in this production are considered, as well as issues related to the safe conduct of the technological process.

In the section "Financial Management, Resource Efficiency and Resource Saving", the economic efficiency of this installation was calculated.

## Содержание

|   |     |
|---|-----|
| Введение .....  | 21  |
| 1.Описание технологической схемы.....   | 22  |
| 2. Расчет нефтегазосепаратора .....   | 24  |
| 2.1.Технологический и конструктивный расчет НГС.....  | 24  |
| 2.1.1.Расчет геометрических размеров аппарата.....  | 24  |
| 2.1.2. Расчет и подбор патрубков.....   | 25  |
| 2.2.Механический расчет .....   | 27  |
| 2.2.1. Расчет толщины обечайки и крышек .....   | 27  |
| 2.2.2. Подбор крышек.....   | 30  |
| 2.2.3. Расчет необходимости укрепления отверстий.....   | 31  |
| 2.2.4. Расчет фланца .....  | 36  |
| 2.2.5. Расчёт обечайки нагруженной опорными нагрузками<br>от воздействия седловых опор.....   | 48  |
| 3. Расчет нефтегазового отстойника.....   | 60  |
| 3.1.Технологический и конструктивный расчет отстойника.....                                   | 60  |
| 3.1.1.Расчет геометрических размеров аппарата.....  | 60  |
| 3.1.2. Расчет и подбор патрубков.....   | 62  |
| 3.2.Механический расчет отстойника .....  | 63  |
| 3.2.1. Расчет толщины обечайки и крышек .....   | 63  |
| 3.2.2. Подбор крышек.....   | 67  |
| 3.2.3. Расчет необходимости укрепления отверстий.....   | 68  |
| 3.2.4. Расчет фланца .....  | 73  |
| 3.2.5. Расчёт обечайки нагруженной опорными нагрузками<br>от воздействия седловых опор.....   | 85  |
| 4.Разделение водонефтяных эмульсий.....   | 97  |
| 5. Разработка методики расчета защиты нефтегазового сепаратора<br>от превышения давления..... | 105 |

|   |     |
|---|-----|
| 5.1.Обоснование актуальности темы.....  | 105 |
| 5. 2.Характеристика современного состояния проблемы .....   | 106 |
| 5.3.Расчет предохранительного устройства нефтегазового<br>сепаратора .....  | 107 |
| 5.4.Заключение.....   | 113 |
| 6.Социальная ответственность.....   | 114 |
| 6.1. Производственная безопасность.....   | 114 |
| 6.1.1 . Анализ вредных факторов производственной среды.....   | 114 |
| 6.1.2. Анализ вредных производственных факторов и обоснование<br>мероприятий по их устранению.....                        | 115 |
| 6.1.2.1. Наличие токсичных и вредных веществ.....   | 115 |
| 6.1.3. Анализ опасных производственных факторов и обоснование<br>мероприятий по их устранению (техника безопасности)..... | 117 |
| 6.1.3.1. Опасность поражения электрическим током.....   | 117 |
| 6.1.3.2. Механические опасности.....  | 119 |
| 6.1.3.3. Взрывопожароопасность.....   | 119 |
| 6.2. Экологическая безопасность.....  | 120 |
| 6.2.1. Защита жилой зоны.....   | 121 |
| 6.2.2 Воздействие объекта на атмосферу.....   | 121 |
| 6.2.3 Воздействие объекта на гидросферу.....  | 123 |
| 6.2.4 Воздействие объекта на литосферу.....   | 123 |
| 6.3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....   | 125 |
| 6.3.1.Превентивные меры и действия в случае возникновения<br>пожара.....  | 127 |
| 6.4.Правовые и организационные вопросы обеспечения<br>безопасности.....   | 128 |
| 7.Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и<br>ресурсосбережение.....   | 130 |
| 7.1. Предпроектный анализ.....  | 130 |

|   |     |
|---|-----|
| 7.1.1. Потенциальные потребители результатов исследования.....  | 130 |
| 7.1.2. Анализ конкурентных технических решений с позиции<br>ресурсоэффективности и ресурсосбережения..... | 130 |
| 7.1.3. Диаграмма Исикава.....   | 132 |
| 7.1.4. Оценка готовности проекта к коммерциализации.....  | 133 |
| 7.1.5. Методы коммерциализации результатов научно-<br>Технического исследования.....                      | 135 |
| 7.2. Инициация проекта .....  | 136 |
| 7.2.1. Цели и результат проекта.....  | 136 |
| 7.2.2. Организационная структура проекта.....   | 136 |
| 7.2.3. Ограничения и допущения проекта.....   | 137 |
| 7.3. Планирование управления научно-техническим проектом.....   | 138 |
| 7.3.1. Иерархическая структура работ проекта.....   | 138 |
| 7.3.2. Контрольные события проекта.....   | 139 |
| 7.3.3. План проекта.....  | 140 |
| 7.3.4. Бюджет научного исследования.....  | 142 |
| 7.3.4.1. Специальное оборудование для проектных работ.....  | 142 |
| 7.3.4.2. Затраты на оплату труда работников, непосредственно<br>занятых выполнением НИОКР.....            | 143 |
| 7.3.4.3. Электроэнергия.....  | 145 |
| 7.3.4.4. Накладные расходы.....   | 145 |
| 7.3.5. Организационная структура проекта.....   | 146 |
| 7.3.6. Матрица ответственности.....   | 146 |
| 7.3.7. План управления коммуникациями проекта.....  | 147 |
| 7.3.8. Реестр рисков проекта.....   | 148 |
| 7.4. Оценка сравнительной эффективности исследования.....   | 150 |
| Заключение.....   | 152 |
| Список научных трудов.....  | 153 |
| Список использованной литературы.....   | 154 |
| Приложение А.....   | 157 |

## ВВЕДЕНИЕ

Одним из наиболее распространенных видов аппаратуры в объектах промышленного сбора, подготовки нефти и газа к транспорту, являются сепараторы. Предназначаются эти аппараты для отделения газа от жидкости, жидкости от газа, а в некоторых случаях оба процесса могут сопровождаться с разделением жидких фаз, отличающихся своими плотностями (нефть-вода, бензин-вода).

В системах подготовки нефти и газа сепараторы используются:

- на ступенях концевой, горячей и вакуумной сепарации, а также в качестве специальных секций или встроенных узлов в аппаратах, совмещающих нагрев, обезвоживание и обессоливание нефти с ее сепарацией;
- перед компрессорными машинами и после них для уменьшения содержания капельной жидкости и механических примесей в поступающем и выходящем газах;
- после колонн для предотвращения механического уноса жидкой фазы (отстойники).

В зависимости от места расположения и назначения к сепараторам предъявляются следующие основные требования:

- достижение равновесия фаз жидкость-газ;
- максимальное отделение от нефти газовой фазы и механических примесей;
- очистка уходящего газа от капельной жидкости;
- предотвращение образования пены или разрушение её;
- снижение влияния пульсации газонефтяного потока;
- четкое разделение жидких фаз (многофазные разделители).

## 1. Описание технологической схемы

Продукция скважин с кустовых площадок Первомайского месторождения с давлением не более  $6,0 \text{ кгс/см}^2$  (по PI-1) поступает на первую ступень сепарации.

Нефтегазоводяная смесь от узла подключения поступает на первую ступень сепарации, в нефтегазосепаратор С-1-1 ( $V=100\text{м}^3$ ). Сепарация газа происходит за счет резкого снижения скорости потока в объеме нефтегазосепаратора. Проходя через успокаивающие и распределяющие перегородки, жидкость и газ разделяются. Газ, поднимается вверх и, пройдя сетчатые каплеотбойники, через верхний штуцер выходит из сепаратора, жидкость стекает на дно сосуда и отводится через нижний штуцер. Нефтяной газ выводится через верхний штуцер и направляется на ФНД. Давление в аппарате С-1-1 (PIA), не более  $4,0 \text{ кгс/см}^2$ . Уровень раздела фаз “нефть – газ“ (LICA), в пределах 900-1800мм.

В случае вывода в ремонт нефтегазосепаратора С-1-1, предусмотрена возможность работы нефтегазосепаратора С-1-2 в качестве сепаратора первой ступени.

Частично разгазированная нефтегазоводяная смесь из нефтегазосепаратора С-1-1 поступает в отстойник ОГ-1 ( $V=200\text{м}^3$ ), где осуществляется отделение пластовой воды. Аппарат работает в режиме полного заполнения.

Нефтяная эмульсия поступает в отстойник через распределительные коллектора, после чего жидкость получает вертикальное направление движения. При движении жидкости вверх (через слой подтоварной воды) происходит постепенное укрупнение капель воды, содержащейся в нефти, и их движение к нижней части отстойника за счет гравитационных сил. Таким образом, в нижней части отстойника собирается пластовая вода, а в верхней части отстойника – нефть. Между слоем воды и нефти образуется слой

водонефтяной эмульсии. Выделившийся газ через верхний штуцер и направляется на ФВД.

Далее нефть попадает в сборные коллектора, расположенные в верхней части аппарата, и через штуцеры выводится из аппарата и поступает в отстойник ОГ-2 ( $V=200\text{м}^3$ ), где происходит дополнительный отстой нефти от воды.

Межфазный уровень “нефть – вода“ для создания оптимальных условий осуществления процесса отстоя в отстойнике ОГ-1 (LICA) в пределах 1,80-3,10м от нижней образующей аппарата, регулируется:

Окончательное разгазирование нефти после отстойников ОГ-1, ОГ-2 осуществляется на второй ступени сепарации в буферной емкости БЕ.

Сепарация газа происходит за счет резкого снижения скорости потока в объеме нефтегазосепаратора. Проходя через успокаивающие и распределяющие перегородки, жидкость и газ разделяются. Газ, поднимается вверх и, пройдя сетчатые каплеотбойники, через верхний штуцер выходит из сепаратора и направляется на ФНД, жидкость стекает на дно сосуда и отводится через нижний штуцер. Давление в аппарате БЕ (PIA), не более  $4,0 \text{ кгс/см}^2$ . Уровень нефти (LICA), в пределах 900-1800 мм.

## 2. Расчет нефтегазосепаратора

Исходные данные:

Материал аппарата: сталь 09Г2С конструкционная низколегированная для сварных конструкций. Выбрали эту сталь т.к. она морозостойкая.

Марка стали 09Г2С находит свое применение при изготовлении деталей сварных металлоконструкций, работающих в широком интервале температур от -70 до +425°С. Это детали работающих в условиях высокого давления. Сталь 09Г2С применяется в химической промышленности, а также в производстве труб.

Физические свойства стали 09Г2С достаточны для того, чтобы обеспечить прочность фасонного, сортового и полосового металлопроката при различных толщинах (от 10 до 100мм). При этом какой-либо дополнительной обработки не потребуется.

Рабочее давление в сепараторе:  $p = 0.4$  МПа;

Рабочая температура:  $t_{\text{раб}} = -40-100$  °С;

Производительность: по нефтяной эмульсии  $Q_{\text{ж}} = 30000$  м<sup>3</sup>/сутки или 0.347 м<sup>3</sup>/с; по газу  $Q_{\text{г}} = 1700$  м<sup>3</sup>/сутки или 0.02 м<sup>3</sup>/с.

Обводненность нефти 55%. От общей смеси нефтяная эмульсия и газ составляют 94,6 % и 5,4 %, соответственно.

Плотность стали 09Г2С: 7850 кг/м<sup>3</sup>.

### 2.1. Технологический и конструктивный расчет НГС

#### 2.1.1. Расчет геометрических размеров аппарата

Определяем диаметр сепаратора по газовой производительности. Найдем максимальную скорость газового потока [2]:

$$w_{\text{г}} = 0,245 * p^{-0,5} = 0,387 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

Определим площадь поперечного сечения потока газа в сепараторе

$$[2]: F = \frac{Q_{\text{г}} * p_0 * T^Z}{p * T_0 * w_{\text{г}}} = 8.681 * 10^{-3} \text{ м}^2 ,$$

где  $Z = 0,9$  – коэффициент сжимаемости реального газа;  $p_0 = 0,1013$  МПа – нормальное давление;  $T_0 = 273$  К – абсолютная нормальная температура.

Диаметр сепаратора по газовой производительности [2]:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot 2 \cdot F}{\pi}} = 0,149 \text{ м}$$

Определяем диаметр сепаратора по эмульсионной производительности.

Максимальное заполнение аппарата нефтяной эмульсией составляет 50%, следовательно [2]:  $D = w_{1 \text{ нефти}} * \sqrt{\frac{Q_n \cdot 4 \cdot 2}{\pi}} = 2,97$  м

где  $w_{1 \text{ нефти}} = 0,1$  м/с – скорость нефти в аппарате,

$Q_n = 0,347 \frac{\text{м}^3}{\text{с}}$  – объемная производительность по нефтяной эмульсии .

Так как диаметр сепаратора по эмульсионной производительности больше чем по газовой ориентируемся на первый.

Отношение длины сепаратора к диаметру называется коэффициентом стройности сепаратора (SR-Slenderness Ratio). Для стандартных сепараторов данное соотношение обычно остается постоянным и равно:  $s=4.5$ .

Таким образом, минимальная длина сепаратора равна:

$$L := s \cdot D = 13,365 \text{ м}$$

Объем сепаратора равен:  $V = \frac{\pi \cdot D^2 \cdot L}{4} = 92,554 \text{ м}^3$

По полученным данным выбираем нефтегазовый сепаратор с данными параметрами: диаметром  $D = 3000$  мм, длиной  $L = 14600$  мм и объемом  $V = 100 \text{ м}^3$  [2, стр. 48].

### 2.1.2. Расчет и подбор патрубков

Принимаем  $w_n$  – скорость смеси для жидкости 2 м/с,  $w_r$  – для нефтяного газа 10 м/с, значит для смеси:

$$\omega_{\text{НГ}} := \omega_{\text{Н}} \cdot 0.946 + \omega_{\text{Г}} \cdot 0.054 = 2.432 \frac{\text{М}}{\text{с}}$$

Определяем диаметр патрубка для входа нефтегазовой смеси, м:

$$d_y := \sqrt{4 \cdot \frac{Q_{\text{Н}} + Q_{\text{Г}}}{\pi \cdot \omega_{\text{НГ}} \cdot 24 \cdot 3600}} = 0.438$$

где  $Q_{\text{Н}}$  – производительность по нефти 30000 м<sup>3</sup>/сут,  $Q_{\text{Г}}$  – производительность по газу 1700 м<sup>3</sup>/сут.

По ГОСТ 2820-80 примем штуцер с  $D_y = 500$  мм и соответствующий фланец [3, с.549].

Определяем диаметр патрубка для выхода нефти, м:

$$d_{y_{\text{Н}}} := \sqrt{4 \cdot \frac{Q_{\text{Н}}}{\pi \cdot \omega_{\text{Н}} \cdot 24 \cdot 3600}} = 0.47$$

По ГОСТ 2820-80 примем штуцер с  $D_y = 500$  мм и соответствующий фланец [3, с.549].

Определяем диаметр патрубка для выхода нефтяного газа, м:

$$d_{y_{\text{Г}}} := \sqrt{4 \cdot \frac{Q_{\text{Г}}}{\pi \cdot \omega_{\text{Г}} \cdot 24 \cdot 3600}} = 0.05$$

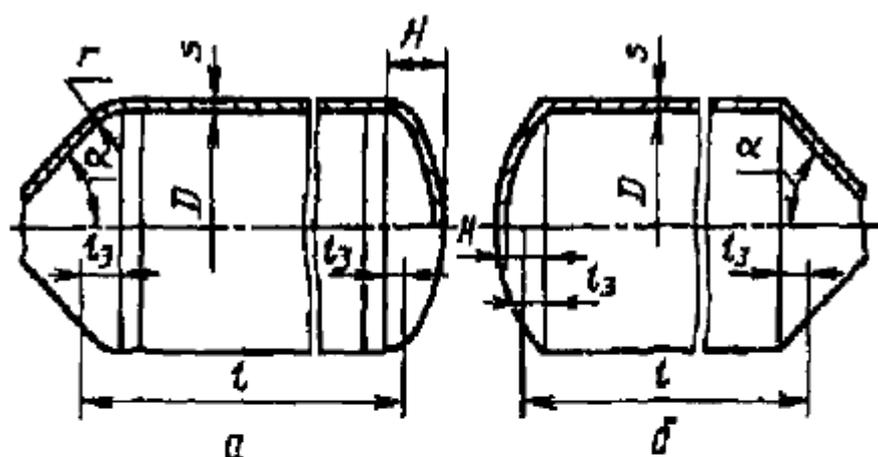
По ГОСТ 2820-80 примем штуцер с  $D_y = 400$  мм и соответствующий фланец [3, с.549].

**Таблица 2.1.2- Основные размеры фланцев**

| $D_y$ , мм | $D_{\text{Н}}$ | $D_{\text{б}}$ | $d_{\text{б}}$ | $z$ | $m$ , кг |
|------------|----------------|----------------|----------------|-----|----------|
| 400        | 565            | 515            | M24            | 16  | 26       |
| 500        | 670            | 620            | M24            | 20  | 27,7     |

## 2.2.Механический расчет

### 2.2.1. Расчет толщины обечайки и крышек



а — обечайка с отбортованными днищами; б — обечайка с неотбортованными днищами

Рис.2.2.1.Расчетная схема цилиндрической обечайки с выпуклыми или коническими днищами

Целью данного механического расчета является определение толщины стенки обечайки и эллиптических днищ для надежной работы аппарата.

Расчет ведем по ГОСТ Р 52857.2-2007 [4].

Исходные данные:

$P := 0.4$  -рабочее давление, МПа.

$t := 100$  -температура среды,  $^{\circ}\text{C}$ .

$\Pi := 0.04$  -скорость коррозии,  $\frac{\text{мм}}{\text{год}}$

$Y := 20$  -срок эксплуатации, лет

$v := 100$  -объем емкости,  $\text{м}^3$ .

Материал 09Г2С.

**Вид сварного шва и способ сварки:**

Стыковой, выполняемый вручную с одной стороны. Длина контролируемых швов от общей длины составляет 100 %\*.

$\phi_p := 0.9$  - коэффициент прочности продольных сварных швов.

В соответствии с ГОСТ 9931-85 [5] геометрические размеры корпуса стального сварного сосуда.

$g := 9.8$  - ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>.

$D := 3000$  - внутренний диаметр, мм.

$l := 13000$  - длина обечайки, мм.

$H := 13000$  - длина цилиндрической части, мм.

Согласно ГОСТ Р 52857.1-2007 [6] определяем коэффициенты запаса прочности и устойчивости:

$\eta := 1$  - коэффициент запаса прочности.

$n_T := 1.1$  - коэффициент прочности при гидравлическом испытании.

$R_{02} := 300$  - предел текучести материала, МПа.

При  $t_0=20$  °С берем  $\sigma=196$ . При  $t_0=100$  °С согласно примечанию в ГОСТ52857.1-2007 [6]:

$\sigma := 177$  МПа

**Выбираем коэффициент прочности сварного шва для стыкового, выполняемого в ручную с одной стороны:**

$\phi := 0.9$

$x := (20 \ 100)^T$   $y := (196 \ 177)^T$

$\sigma_t := \text{Floor}(\text{linterp}(x, y, t), 0.5) = 177$  МПа

Допускаемое напряжение принимаем при  $T=100$  °С.

$\sigma_{20} := 196$  - допускаемое напряжение материала при нормальных условиях, МПа.

Определим плотность среды:

$\rho_n := 838$  - плотность нефти,  $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ .

$\rho_v := 1000$  - плотность воды,  $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ .

$\rho_g := 1.0074$  - плотность газа,  $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ .

$$\rho_{нэ} := 0.45 \cdot \rho_{н} + 0.55 \cdot \rho_{в} = 927.1 \text{ -плотность нефтяной эмульсии, } \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}.$$

$$\rho := 0.946 \cdot \rho_{нэ} + 0.054 \cdot \rho_{г} = 877.091 \text{ -плотность среды, кг/м}^3.$$

**Расчетное значение внутреннего избыточного давления, МПа:**

$$P_r := P + \frac{\rho \cdot g \cdot D}{10^9} = 0.426$$

**Пробное давление при гидравлическом испытании внутри аппарата, МПа:**

$$\sigma_{н} := \text{Floor}\left(\frac{R_{02}}{n_T}, 1\right) = 272$$

$$\sigma_{20} := \text{Floor}(\eta \cdot \sigma_{20}, 1) = 196$$

**Давление для испытания на прочность, МПа:**

$$P_{пр} := 1.25 \cdot P \cdot \frac{\sigma_{20}}{\sigma_t} = 0.554$$

**Расчет толщины стенки при гидравлическом испытании и при рабочем давлении.**

**Расчет толщины стенки цилиндрической обечайки, мм:**

$$s_p := \max\left[\frac{P_r \cdot D}{(2 \cdot \phi_p \cdot \sigma_t - P_r)}, \frac{P_{пр} \cdot D}{(2 \cdot \phi_p \cdot \sigma_{н} - P_{пр})}\right] = 4.015$$

$$c1 := Y \cdot \Pi = 0.8$$

— сумма прибавок к расчетным  
толщинам стенок, мм;

$$c2 := 2$$

$$c := \text{Ceil}(c1 + c2, 1) = 3$$

c1 — прибавка для компенсации  
коррозии и эрозии, мм;

$$S_{ЦО} := \text{ceil}(s_p + c) = 8$$

c2 — прибавка для компенсации  
минусового допуска, мм;

$$s_p + c = 7.015$$

$$S_{ЦО} = 8$$

Принимаем толщину стенки цилиндрической обечайки:  $S_{ЦО} = 12$  мм

**Расчет толщины стенки стандартных эллиптических крышек, мм:**

$$S_p := \max\left[\frac{P_r \cdot D}{(2 \cdot \phi_p \cdot \sigma_t - 0.5 P_r)}, \frac{P_{пр} \cdot D}{(2 \cdot \phi_p \cdot \sigma_{н} - 0.5 P_{пр})}\right] = 4.012$$

$$c1 := Y \cdot \Pi = 0.8$$

$$\text{Ceil}(c1 + c2, 1) = 3 \text{ мм}$$

$$\text{ceil}(S_p + c) = 8 \text{ мм}$$

Принимаем толщину стенок стандартных эллиптических крышек:  $S_{эк} = 14 \text{ мм}$

Результатом данного расчета является принятые толщины стенок обечайки и эллиптических днищ 12 и 14 миллиметров соответственно.

### 2.2.2. Подбор крышек

Наиболее рациональной формой для цилиндрических аппаратов является эллиптическая. Эллиптические днища и крышки изготавливаются из листового проката штамповкой и могут использоваться в аппаратах с избыточным давлением до 10 МПа.

Подбираем стандартные стальные не отбортованные эллиптические крышки по ГОСТ 6533-78 [4], параметры которых примем при  $D = 3000 \text{ мм}$ :

Таблица 2.2.2- Внутренние базовые размеры для днища эллиптического не отбортованного стального по ГОСТу 6533-68 [5]

| $D_B, \text{мм}$ | $h_B, \text{мм}$ | $F_B, \text{внутренняя поверхность днища, м}^2$ | $V, \text{дм}^3$ | $H, \text{мм}$ | $m, \text{кг}$ |
|------------------|------------------|---|------------------|----------------|----------------|
| 3000             | 810              | 10.32   | 3942.3           | 60             | 1147.2         |

### 2.2.3. Расчет необходимости укрепления отверстий

Целью данного механического расчета является определение необходимости укрепления отверстий в цилиндрической обечайке для надежной работы аппарата.

Расчет укреплений отверстий в цилиндрической обечайке, нагруженной внутренним давлением, ведется по ГОСТ Р 52857.3-2007 [8].

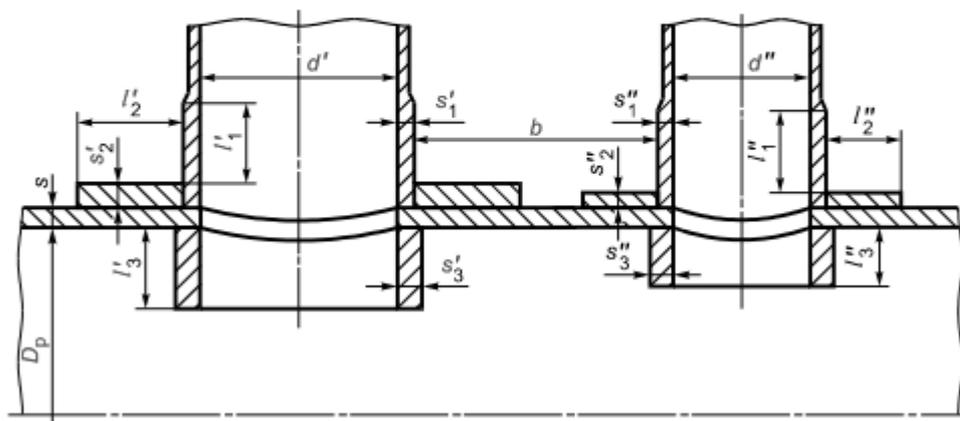


Рис 2.2.3. Расчетная схема укрепления отверстий

Расчиываем самое большое отверстие в сепараторе, а именно люк-лаз.

#### Исходные данные:

|   |                               |
|---|-------------------------------|
| Внутренний диаметр оболочки, мм:                      | $D := 3000$                   |
| Внутреннее расчетное давление, МПа:                   | $P_r := 0.426$                |
| Расчётная температура, °C:                            | $t_R := 100$                  |
| Исполнительная толщина стенки оболочки, мм:           | $s := 12$                     |
| Расстояние от центра укрепления отверстия до оси, мм: | $x := 0$                      |
| Диаметр отверстия, мм:                                | $d_1 := 500$                  |
| Толщина стенки (внутренней) штуцера, мм:              | $s_1 := 14$                   |
| Толщина стенки (внешней) штуцера, мм:                 | $s_3 := 14$                   |
| Длина внешней части штуцера, мм:                      | $l_1 := d_1 \cdot 0.65 = 325$ |

Длина внутренней части штуцера, мм:  $l_3 := 6$   
 Ширина накладного кольца, мм:  $l_2 := 0.5d_1$   
 Ширина накладного кольца, мм:  $l_{21} := 0.5d_2$   
 Толщина накладного кольца, мм:  $s_2 := s$   
 Прибавка расчетной толщины стенки, мм:  $c := 2$   
 Коэффициент прочности сварных швов:  $\phi := 0.9$

Допускаемое напряжение для материала при расчётной температуре, МПа:

$$\sigma_d := 177$$

Допускаемое напряжение для материала накладного кольца при расчетной температуре, МПа:

$$\sigma_{d1} := \sigma_d$$

Допускаемое напряжение для материала внешней части штуцера при расчетной температуре, МПа:

$$\sigma_{d2} := \sigma_d$$

Допускаемое напряжение для материала внутренней части штуцера при расчетной температуре, МПа:

$$\sigma_{d3} := \sigma_d$$

Высота , мм:  $h := 0.25 \cdot D$

### Расчёт укрепления отверстия в оболочке:

Выбор типа оболочки:

$$n := \begin{cases} \text{цилиндрическая} & n = 1 \\ \text{эллиптическая} & \end{cases}$$

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

**Расчётный диаметр оболочки:**

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

$$D_p = 3 \times 10^3 \text{ мм}$$

Тип = "цилиндрическая оболочка"

**Расчётный диаметр наибольшего отверстия в стенке обечайки, мм:**

$$d1_p := \begin{cases} d1_p \leftarrow d1 + 2 \cdot c & \text{if } n = 1 \\ d1_p \leftarrow \frac{(d1 + 2 \cdot c)}{\sqrt{1 - \left(2 \cdot \frac{x}{D_p}\right)^2}} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$d1_p = 504$$

Проверка условий применения формул для расчёта укрепления отверстий:

Для наибольшего отверстия:

$$Usl := \begin{cases} \text{if } n = 1 \\ \quad \left| \begin{array}{l} \text{"отношение диаметров НЕ выполняется"} \text{ if } \frac{(d1_p - 2 \cdot c)}{D} > 1 \\ \text{"отношение толщины к диаметру НЕ выполняется"} \text{ if } \frac{(s - c)}{D} > 0.1 \\ \text{"условия применения формул выполняются"} \text{ otherwise} \end{array} \right. \\ \text{if } n = 2 \\ \quad \left| \begin{array}{l} \text{"отношение диаметров НЕ выполняется"} \text{ if } \frac{(d1_p - 2 \cdot c)}{D} > 0.6 \\ \text{"отношение толщины к диаметру НЕ выполняется"} \text{ if } \frac{(s - c)}{D} > 0.1 \\ \text{"условия применения формул выполняется"} \text{ otherwise} \end{array} \right. \end{cases}$$

Тип = "цилиндрическая оболочка"

Usl = "условия применения формул выполняются"

**Расчётная толщина стенки оболочки:**

$$s_p := \begin{cases} s_p \leftarrow \frac{P_r \cdot D_p}{2 \cdot \phi \cdot \sigma_d - P_r} & \text{if } n = 1 \\ s_p \leftarrow \frac{P_r \cdot D_p}{4 \cdot \phi \cdot \sigma_d - P_r} & \text{otherwise} \end{cases}$$
$$s_p = 4.017 \text{ мм}$$

**Расчётная толщина стенки штуцера:  
для наибольшего отверстия**

$$s_{1p}' := \frac{P_r \cdot (d1 + 2 \cdot c)}{2 \cdot \sigma_{d1} \cdot \phi - P_r} = 0.675 \text{ мм}$$

**Расчётные длины штуцеров:**

$$l_{11p} := \min \left[ l_1, \sqrt{(d1 + 2 \cdot c) \cdot (s - c)} \right] \quad l_{11p} = 70.993 \text{ мм}$$

$$l_{31p} := \min \left[ l_3, 0.5 \cdot \sqrt{(d1 + 2 \cdot c) \cdot (s_3 - 2 \cdot c)} \right] \quad l_{31p} = 6 \text{ мм}$$

**Расчётная ширина накладного кольца:**

$$l_{21p} := \min \left[ l_2, \sqrt{D_p \cdot (s_2 + s - c)} \right] \quad l_{21p} = 250 \text{ мм}$$

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

$$l_{1p} := \sqrt{D_p \cdot (s - c)} = 173.205 \text{ мм}$$

**Отношения допускаемых напряжений: для внешней части штуцера:**

$$\chi_1 := \min \left( 1, \frac{\sigma_{d1}}{\sigma_d} \right) \quad \chi_1 = 1$$

для накладного кольца:

$$\chi_2 := \min \left( 1, \frac{\sigma_{d2}}{\sigma_d} \right) \quad \chi_2 = 1$$

для внутренней части штуцера:

$$\chi_3 := \min \left( 1, \frac{\sigma_{d3}}{\sigma_d} \right) \quad \chi_3 = 1$$

Расчётный диаметр одиночного отверстия, не требующий дополнительного укрепления:

$$d1_{op} := 0.4 \cdot \sqrt{D_p \cdot (s - c)} = 69.282 \text{ мм}$$

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

$$d1_o := 2 \cdot \left[ \left( \frac{s - c}{s_p} \right) - 0.8 \right] \cdot \sqrt{D_p \cdot (s - c)} = 585.303 \text{ мм}$$

Проверка необходимости укрепления отверстия:

$$\text{Prov} := \begin{cases} \text{"Необходимо укрепление отверстия"} & \text{if } d1_o < d1_{op} \\ \text{"Укрепление не требуется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Тип = "цилиндрическая оболочка"

Prov = "Укрепление не требуется"

**Проверка условия укрепления одиночного отверстия:**

$$A_{11} := l_{1n} \cdot (s_1 - s'_{1n} - c) \cdot \chi_1 = 804.009 \text{ мм}$$

$$A_{21} := l_{21p} \cdot s_2 \cdot \chi_2 = 3 \times 10^3 \text{ мм}$$

$$A_{31} := l_{31n} \cdot (s_3 - c - c) \cdot \chi_3 = 60 \text{ мм}$$

$$A_{1p.c} := l_{1p} \cdot (s - s_p - c) = 1.036 \times 1 \text{ мм}$$

$$A_{1p} := 0.5 \cdot (d_{1p} - d_{1op}) \cdot s_p = 873.059 \text{ мм}$$

$$\text{Summa1} := A_{11} \cdot \chi_1 + A_{21} \cdot \chi_2 + A_{31} \cdot \chi_3 + A_{1p.c} = 4.9 \times 10^3$$

$$\text{Prov}' := \begin{cases} \text{"условие укрепления выполняется"} & \text{if Summa1} \geq A_{1p} \\ \text{"условие укрепления НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Тип = "цилиндрическая оболочка"

Prov' = "условие укрепления выполняется"

Результатами данного расчета является определение наибольшего диаметра одиночного отверстия, не требующий дополнительного укрепления равному 69.282 мм и диаметр одиночного отверстия, не требующий дополнительного укрепления при наличии избыточной толщины стенки сосуда равному 585.303 мм, а так же проверка условий необходимости укрепления отверстия и условия укрепления одиночного отверстия.

## 2.2.4. Расчет фланца

Целью данного механического расчета является определение надежности фланцевого соединения.

В связи с тем что в аппарате находится агрессивная среда выбираем :

Тип фланца: фланцевое соединение приварное встык.

Тип уплотнительной поверхности: шип-паз

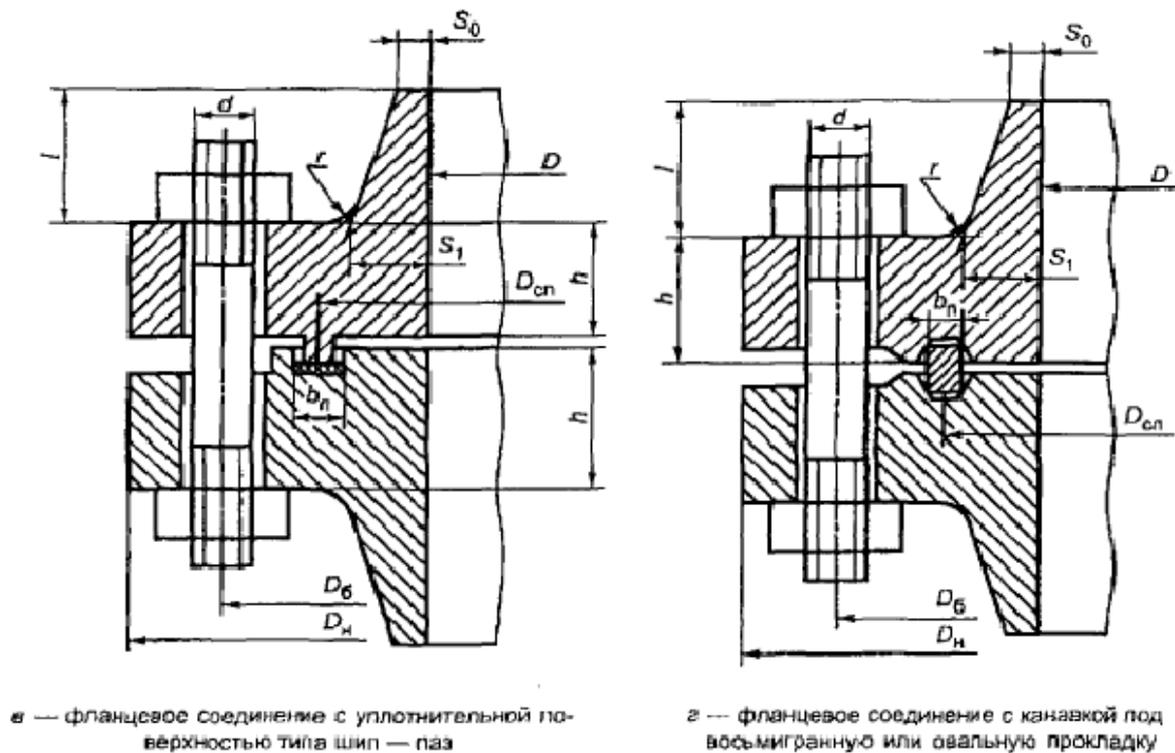


Рис.2.2.4. Расчетная схема фланцевого соединения с приварными встык фланцами

Расчет ведем по ГОСТ Р 52857.4-2007 [9].

### Исходные данные:

$D := 500$  -внутренний диаметр фланца,мм.

$D_{н} := 670$  -наружный диаметр фланца,мм.

$D_{б} := 620$  -диаметр окружности расположения болтов,мм.

$D_{сп} := 550$  -расчетный диаметр прокладки,мм.

$b_{п} := 16$  -ширина прокладки,мм.

$h := 38$  -высота ,мм.

$h_{\text{П}} := 3$  -толщина прокладки,мм.

$S_0 := 15$  -толщина втулки приварного встык фланца,мм.

$d := 24$  -наружный диаметр болта,мм.

$n := 20$  -число болтов.

$P_{\text{пр}} := 0.554$  -пробное давление,МПа.

$M := 0$  -изгибающий момент,Н\*мм.

$F := 0$  -осевая сила,Н.

$c_0 := 2$  -прибавка на коррозию,мм.

$t := 100$  -расчетная температура, $^{\circ}\text{C}$ .

Материал патрубков и фланцев - сталь 09Г2С

Материал болтов - сталь 35Х

Материал прокладки - паронит ПОН.

Выбор крепежных элементов:

$bs :=$    $bs = 1$   
Шпильки

### ***Определение расчетных параметров***

Расчетные температуры.

расчетная температура неизолированных приварных встык фланцев

$t_{\phi} = 0,96 t$ :

$$t_{\phi} := 0.96 \cdot t \qquad t_{\phi} = 96 \text{ } ^{\circ}\text{C}$$

расчетная температура болтов:

$$t_6 := 0.85 \cdot t \qquad t_6 = 85 \text{ } ^{\circ}\text{C}$$

Допускаемые напряжения для болтов из стали 35Х:

В рабочем состоянии:

$$t_{\text{в}} := \begin{pmatrix} 20 \\ 100 \end{pmatrix} \qquad \sigma := \begin{pmatrix} 230 \\ 225 \end{pmatrix}$$

$$\sigma_{\text{д.6}} := \text{Floor}(\text{linterp}(t, \sigma, t_6), 0.5)$$

$$\sigma_{\text{д.6}} = 225.5 \text{ МПа}$$

Модуль упругости для болтов при рабочей температуре:

$$E_6 := 2.14 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

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

$$\sigma_{206} := 230 \text{ МПа}$$

Модуль упругости для болтов при температуре испытания  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ :

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

Коэффициент линейного расширения стали 35Х при  $t = 20\text{-}100 \text{ }^\circ\text{C}$ :

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

Допускаемые напряжения для фланцев и обечаек стали 09Г2С:

$$t := \begin{pmatrix} 20 \\ 100 \end{pmatrix} \quad \sigma := \begin{pmatrix} 196 \\ 177 \end{pmatrix}$$
$$\sigma := \text{Floor}(\text{interp}(t, \sigma, t_\phi), 0.5) \quad \sigma = 177.5 \text{ МПа}$$

Мембранные напряжения:

$$\sigma_{\text{д.м}} := 1.5 \cdot \sigma \quad \sigma_{\text{д.м}} = 266.25 \text{ МПа}$$

Модуль упругости для стали 09Г2С при рабочей температуре :

$$E := 1.91 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

Допускаемое напряжение для стали 09Г2С при  $t = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ :

$$\sigma_{20} := 196 \text{ МПа} \quad \sigma_{\text{д}20} := \eta \cdot \sigma_{20} \quad \sigma_{\text{д}20} = 196 \text{ МПа}$$

Модуль упругости для стали 09Г2С при температуре испытания  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ :

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

Коэффициент линейного расширения стали 09Г2С при  $t = 20\text{-}100 \text{ }^\circ\text{C}$  :

$$\alpha_\phi := 11.6 \cdot 10^{-6} \text{ 1/К}$$

Эффективная ширина плоской прокладки:

$$b_0 := \begin{cases} b_0 \leftarrow b_\Pi & \text{if } b_\Pi \leq 15 \\ b_0 \leftarrow \text{Ceil}(3.8 \sqrt{b_\Pi}, 1) & \text{otherwise} \end{cases} \quad b_0 = 16 \text{ мм}$$

Характеристики прокладки по ГОСТ Р 52857.4-2007 [9]:

$m := 2.5$  -прокладочный коэффициент.

$q_{обж} := 20$  -удельное давление обжатия прокладки, МПа.

$q_d := 130$  -допускаемое удельное давление, МПа.

$K_{обж} := 0.9$  -коэффициент обжатия.

$E_{\Pi} := 200$  -условный модуль сжатия прокладки, МПа.

Усилие, необходимое для смятия прокладки при затяжке:

$$P_{обж} := 0.5\pi \cdot D_{сп} \cdot b_0 \cdot m \cdot |P_{пр}| \quad P_{обж} = 1.914 \times 10^4 \text{ Н}$$

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

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

$$R_{\Pi} = 3.829 \times 10^4 \text{ Н}$$

Площадь поперечного сечений болтов (шпилек) по таблице 4.3 [9]:

$$f_{\text{б}} := 225 \text{ мм}^2$$

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

$$A_{\text{б}} := n \cdot f_{\text{б}} \quad A_{\text{б}} = 4.5 \times 10^3 \text{ мм}^2$$

Равнодействующая нагрузка от давления:

$$Q_{\text{д}} := \frac{\pi}{4} \cdot (D_{сп})^2 \cdot P_{пр} \quad Q_{\text{д}} = 1.316 \times 10^5 \text{ Н}$$

Приведенная нагрузка, вызванная воздействием внешней силы и изгибающего момента:

$$Q_{\text{FM}} := \max\left(\left|F + \frac{4 \cdot |M|}{D_{сп}}\right|, \left|F - \frac{4 \cdot |M|}{D_{сп}}\right|\right) \quad Q_{\text{FM}} = 0 \text{ Н}$$

Податливость прокладки:

$$y_{\Pi} := \frac{h_{\Pi} \cdot K_{обж}}{E_{\Pi} \cdot \pi \cdot D_{сп} \cdot b_{\Pi}} \quad y_{\Pi} = 4.883 \times 10^{-7} \text{ мм/Н}$$

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

$$L_{\text{б0}} := 62 \text{ мм}$$

Эффективная длина болта (шпильки) при определении податливости:

$$L_6 := \begin{cases} L_{60} + 0.28 \cdot d & \text{if } bs = 1 \\ L_{60} + 0.56 \cdot d & \text{if } bs = 2 \end{cases} \quad L_6 = 68.72 \text{ мм}$$

Податливость болтов:

$$y_6 := \frac{L_6}{E_{206} \cdot A_6} \quad y_6 = 7.005 \times 10^{-8} \text{ мм/Н}$$

Расчетные параметры фланцев:

- параметр длины обечайки:

$$l_0 := \sqrt{D \cdot S_0} \quad l_0 = 86.603 \text{ мм}$$

- отношение наружного диаметра тарелки фланца к внутреннему диаметру:

$$K := \frac{D_H}{D} \quad K = 1.34$$

- коэффициенты, зависящие от соотношения размеров тарелки фланца:

$$\beta_T := \frac{K^2 \cdot (1 + 8.55 \cdot \log(K)) - 1}{(1.05 + 1.945 \cdot K^2) \cdot (K - 1)} \quad \beta_T = 1.779$$

$$\beta_U := \frac{K^2 \cdot (1 + 8.55 \cdot \log(K)) - 1}{1.36 \cdot (K^2 - 1) \cdot (K - 1)} \quad \beta_U = 7.467$$

$$\beta_Y := \frac{1}{(K - 1)} \cdot \left[ 0.69 + 5.72 \cdot \frac{K^2 \cdot \log(K)}{(K^2 - 1)} \right] \quad \beta_Y = 6.855$$

$$\beta_Z := \frac{K^2 + 1}{K^2 - 1} \quad \beta_Z = 3.514$$

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

$$\beta_F := 0.91 \quad \beta_V := 0.55 \quad f := 1$$

- коэффициент  $\lambda$ :

$$\lambda := \frac{\beta_F \cdot h + l_0}{\beta_T \cdot l_0} + \frac{\beta_V \cdot h^3}{\beta_U \cdot l_0 \cdot (S_0)^2} \quad \lambda = 0.994$$

Угловая податливость фланцев:

Угловая податливость фланца при затяжке:

$$y_{\phi} := \frac{0.91 \cdot \beta_V}{E_{20} \cdot \lambda \cdot l_0 \cdot (S_0)^2} \quad y_{\phi} = 1.298 \times 10^{-10} \text{ мм/Н}$$

Угловая податливость фланца, нагруженного внешним изгибающим моментом:

$$y_{\phi H} := \left( \frac{\pi}{4} \right)^3 \cdot \frac{D_6}{E_{20} \cdot h^3 \cdot D_H} \quad y_{\phi H} = 4.106 \times 10^{-11} \text{ мм/Н}$$

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

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

Приведенный диаметр приварного встык фланца:  $D_{пр} := D$

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

$$b := 0.5(D_6 - D_{сп}) = 35 \text{ мм}$$

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

$$e := 0.5 \cdot (D_{сп} - D - S_0) \quad e = 17.4 \text{ мм}$$

Коэффициент жесткости фланцевого соединения для приварных встык:

$$\gamma := \frac{1}{y_{п} + y_6 \cdot \frac{E_{206}}{E_6} + 2 \cdot b^2 \cdot y_{\phi} \cdot \frac{E_{20}}{E}} \quad \gamma = 1.122 \times 10^6$$

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

$$\alpha := 1 - \frac{y_{п} - 2 \cdot e \cdot y_{\phi} \cdot b}{y_{п} + y_6 + 2 \cdot b^2 \cdot y_{\phi}} \quad \alpha = 0.624$$

Коэффициент жесткости фланцевого соединения, нагруженного внешним изгибающим моментом:

$$\alpha_M := \frac{y_6 + 2 \cdot y_{\phi H} \cdot b \cdot \left( b + e - \frac{e^2}{D_{\text{сп}}} \right)}{y_6 + y_{\Pi} \cdot \left( \frac{D_6}{D_{\text{сп}}} \right)^2 + 2 \cdot y_{\phi H} \cdot b^2} \quad \alpha_M = 0.277$$

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

$$Q_t := \gamma \cdot [2\alpha_{\phi} \cdot h \cdot (t_{\phi} - 20) - 2\alpha_6 \cdot h \cdot (t_6 - 20)] \quad Q_t = 904.061 \quad \text{Н}$$

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

$$P_{61} := \max \left[ \begin{array}{l} \alpha \cdot (Q_d + F) + R_{\Pi} + \frac{4 \cdot \alpha_M \cdot |M|}{D_{\text{сп}}} \\ \alpha \cdot (Q_d + F) + R_{\Pi} + \frac{4 \cdot \alpha_M \cdot |M|}{D_{\text{сп}}} - Q_t \end{array} \right]$$

$$P_{61} = 1.205 \times 10^5 \quad \text{Н}$$

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

$$P_{62} := \max(P_{\text{обж}}, 0.4 \cdot A_6 \cdot \sigma_{206})$$

$$P_{\text{обж}} = 1.914 \times 10^4 \quad \text{Н} \quad P_{62} = 4.14 \times 10^5 \quad \text{Н}$$

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

$$P_{6M} := \max(P_{61}, P_{62}) \quad P_{6M} = 4.14 \times 10^5 \quad \text{Н}$$

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

$$P_{6p} := P_{6M} + (1 - \alpha) \cdot (Q_d + F) + Q_t + \frac{4 \cdot (1 - \alpha_M) \cdot |M|}{D_{\text{сп}}}$$

$$P_{6p} = 4.644 \times 10^5 \quad \text{Н}$$

### Проверка прочности болтов (шпилек) и прокладки.

Расчетные напряжения в болтах (шпильках):

- при затяжке:

$$\sigma_{61} := \frac{P_{6M}}{A_6} \quad \sigma_{61} = 92 \quad \text{МПа}$$

- в рабочих условиях:

$$\sigma_{62} := \frac{P_{6P}}{A_6} \quad \sigma_{62} = 103.189 \quad \text{МПа}$$

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

$$\text{Usl}_1 := \begin{cases} \text{"Условия прочности в при затяжке НЕ выполняются"} & \text{if } \sigma_{61} > \sigma_{206} \\ \text{"Условия прочности в рабочих условиях НЕ выполняются"} & \text{if } \sigma_{62} > \sigma_{д.6} \\ \text{"Условия прочности выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

**Usl\_1 = "Условия прочности выполняются"**

$$\sigma_{61} = 92 \text{ МПа} \quad \sigma_{206} = 230 \text{ МПа} \quad \sigma_{62} = 103.189 \text{ МПа} \quad \sigma_{д.6} = 225.5 \text{ МПа}$$

Удельное давление на прокладку:

$$q := \frac{\max(P_{6M}, P_{6P})}{\pi \cdot D_{сп} \cdot b_{п}} \quad q = 16.796 \quad \text{МПа}$$

Условие прочности прокладки (проверяется для мягких прокладок):

$$\text{Usl}_2 := \begin{cases} \text{"Условие прочности прокладки НЕ выполняется"} & \text{if } q > q_d \\ \text{"Условие прочности прокладки выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

**Usl\_2 = "Условие прочности прокладки выполняется"**

$$q = 16.796 \text{ МПа} \quad q_d = 130 \text{ МПа}$$

### Расчет фланцев на статическую прочность.

Расчетный изгибающий момент, действующий на приварной встык фланец при затяжке:

$$M_M := C_F \cdot P_{6M} \cdot b \quad M_M = 1.449 \times 10^7 \quad \text{Н*мм}$$

Расчетный изгибающий момент, действующий на фланец в рабочих условиях:

$$M_p := C_F \cdot \max \left[ P_{6p} \cdot b + (Q_d + Q_{FM}) \cdot e, |Q_d + Q_{FM}| \cdot e \right]$$

$$M_p = 1.856 \times 10^7 \text{ Н*мм}$$

Расчетные напряжения во фланце при затяжке:

- меридиональное изгибное напряжение во втулке приварного встык фланца:

$$\sigma_{0M} := \frac{M_M}{\lambda \cdot (S_0 - c_o)^2 \cdot D_{пр}} \quad \sigma_{0M} = 172.488 \text{ МПа}$$

- напряжения в тарелке приварного встык фланца в условиях затяжки:

- радиальное напряжение:

$$\sigma_{RM} := \frac{1.33 \cdot \beta_F \cdot h + l_0}{\lambda \cdot h^2 \cdot l_0 \cdot D} \cdot M_M \quad \sigma_{RM} = 30.908 \text{ МПа}$$

- окружное напряжение:

$$\sigma_{TM} := \frac{\beta_Y \cdot M_M}{h^2 \cdot D} - \beta_Z \cdot \sigma_{RM} \quad \sigma_{TM} = 28.979 \text{ МПа}$$

Расчетные напряжения во фланце в рабочих условиях.

- меридиональные изгибные напряжения для приварных встык фланцев:

$$\sigma_{0p} := \frac{M_p}{\lambda \cdot (S_0 - c_o)^2 \cdot D_{пр}} \quad \sigma_{0p} = 220.885 \text{ МПа}$$

- максимальные меридиональные мембранные напряжения в обечайке приварного встык фланца:

$$\sigma_{0mp} := \max \left[ \frac{Q_d + F + \frac{4|M|}{D_{сп}}}{\pi \cdot (D + S_0) \cdot (S_0 - c_o)}, \frac{Q_d + F - \frac{4|M|}{D_{сп}}}{\pi \cdot (D + S_0) \cdot (S_0 - c_o)} \right]$$

$$\sigma_{0mp} = 6.258 \text{ МПа}$$

Напряжения в тарелке приварного встык фланца :

- радиальное напряжение:

$$\sigma_{Rp} := \frac{1.33 \cdot \beta_F \cdot h + l_0}{\lambda \cdot h^2 \cdot l_0 \cdot D} \cdot M_p \quad \sigma_{Rp} = 39.58 \text{ МПа}$$

- окружное напряжение:

$$\sigma_{Tp} := \frac{\beta_Y \cdot M_p}{h^2 \cdot D} - \beta_Z \cdot \sigma_{Rp} \quad \sigma_{Tp} = 37.11 \text{ МПа}$$

Проверка условий статической прочности фланцев:

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

$$\sigma_{3max} := \max \left( \left| \sigma_{0m} + \sigma_{Rm} \right|, \left| \sigma_{0m} + \sigma_{Tm} \right| \right)$$

PR\_1 := "Условия статической прочности при затяжке и в рабочих условиях выполняются"

PR\_3 := "Условия статической прочности НЕ выполняются"

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

$$K_T := 1.3$$

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

Usl\_3 = "Условия статической прочности при затяжке и в рабочих условиях выполняются"

$$\sigma_{3max} = 203.396 \text{ МПа} \quad K_T \cdot \sigma_{20} = 254.8 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{Pmax} = 254.208 \text{ МПа} \quad K_T \cdot \sigma_{д.м} = 346.125 \text{ МПа}$$

**Проверка углов поворота фланцев.**

Угол поворота приварного встык фланца:

$$\Theta := M_p \cdot y_{\phi} \cdot \frac{E_{20}}{E} \quad \Theta = 2.51 \times 10^{-3}$$

Допустимый угол поворота приварного встык фланца:  $\Theta_d := 0.013$

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

**Usl\_P = "Условие поворота фланца выполняется"**

Результатами данного расчета является выполнение условий прочности болтов, условий статической прочности фланцев при затяжке и в рабочих условиях и условия поворота фланца.

## 2.2.5. Расчёт обечайки нагруженной опорными нагрузками от воздействия седловых опор

Целью данного механического расчета является расчет обечайки и днища от воздействия опорных нагрузок, а также подбор опоры аппарата и проверка его устойчивости.

Расчет осуществляем по ГОСТ Р 52857.5-2007 [10]

Сосуды работающие под внутренним избыточным давлением.

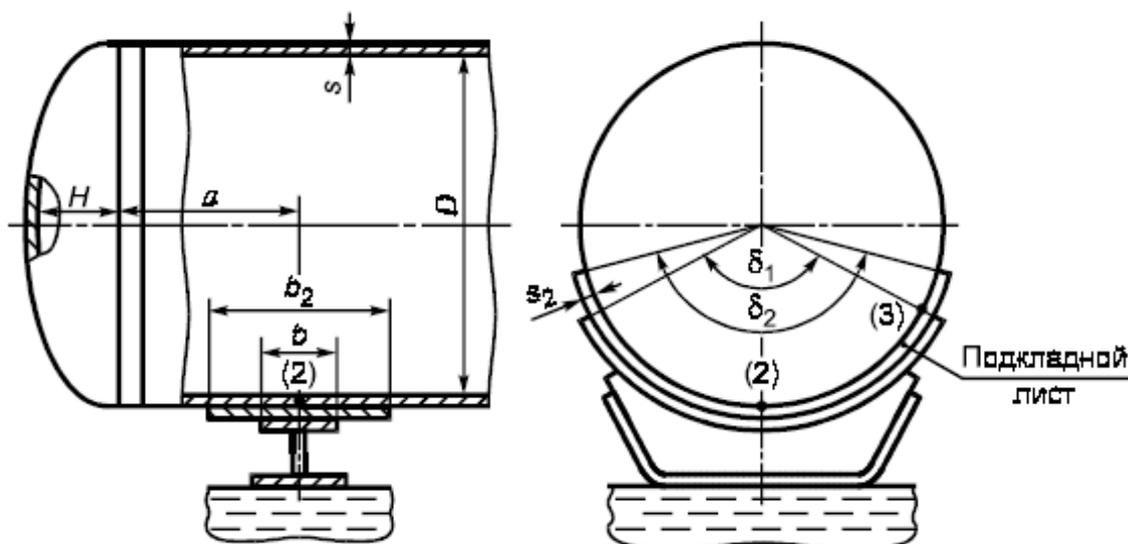


Рис. 2.2.5.1. Схема обечайки и седловой опоры

### Исходные данные:

Аппарат изготовлен из стали 09Г2С.

$\rho := 7850$  -плотность материала, кг/м<sup>3</sup>.

$\rho_{\text{В}} := 1000$  -плотность воды, кг/м<sup>3</sup>.

$H := 810$  -высота выпуклой части днища по внутренней поверхности без учета цилиндрической отбортовки, мм;

$V := 100$  -объем емкости аппарата, м<sup>3</sup>.

$g := 9.8$  -ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>.

$L := 13000$  -длина цилиндрической части сосуда, включая длину цилиндрической отбортовки днища, мм;

$D := 3000$  -внутренний диаметр цилиндрической обечайки или выпуклого днища, мм;

$p_{\text{T}} := 0.426$  -расчетное значение внутреннего избыточного давления, МПа.

- $\phi := 1$  -коэффициент прочности сварных швов обечайки, расположенных в области опорного узла;
- $E := 1.91 \cdot 10^5$  -модуль продольной упругости при расчетной температуре, МПа.
- $b := 450$  -ширина седловой опоры, мм;
- $s_2 := 14$  -исполнительная толщина подкладного листа, мм;
- $b_2 := b + 4 \cdot s_2 = 506$  -ширина подкладного листа, мм;
- $\sigma_t := 177$  -допускаемое напряжение при расчетной температуре, МПа;
- $\sigma_T := 265.5$  -предел текучести при расчетной температуре, МПа;
- $\sigma_{20} := 196$  -допускаемое напряжение при температуре 20 °С, МПа;
- $a := 2500$  -длина выступающей цилиндрической части сосуда, включая отбортовку днища, мм;
- $e := a + H$  -длина свободновыступающей части эквивалентного сосуда, мм;
- $t_{\text{rab}} := 100$  -рабочая температура в аппарате, °С;
- $c := 2$  -сумма прибавок к расчетной толщине стенки, мм;
- $\delta_1 := 120 \cdot \text{deg}$  -угол охвата седловой опоры, °;
- $\delta_2 := 140 \cdot \text{deg}$  -угол охвата сосуда подкладным листом, °.

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

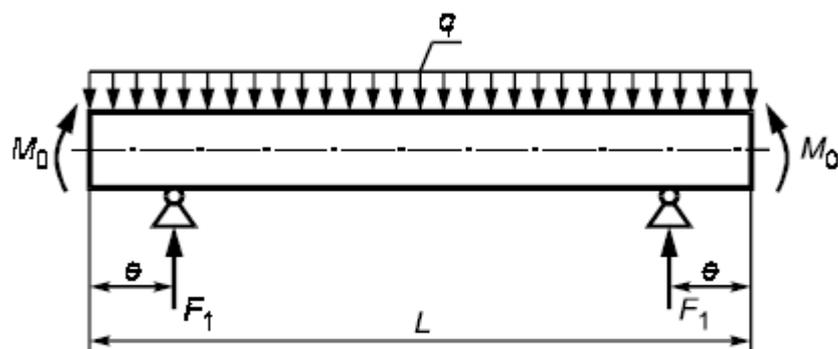


Рис. 2.2.5.2. Расчетная схема определения усилий

**Выберите условие нагружения:**

- $z :=$
- Внутреннее давление
  - Наружнее давление

**Выберите условие работы аппарата:**

o :=  
Рабочие условия  
Условия испытаний

**Расчётные данные:**

**Расчётная температура**

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

$$t = 20 \text{ } ^\circ\text{C}$$

**Допускаемое напряжение при расчетной температуре:**

Принимаем по ГОСТ Р 52857.1-2007 [3] при расчётной температуре  $t=20^\circ\text{C}$

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

$$\sigma_d = 241 \text{ МПа}$$

**Расчётное давление:**

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

$$p = 0.59 \text{ МПа}$$

**Исполнительная толщина стенки:**

$$s := 12 \text{ мм}$$

### Допускаемое наружное давление

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

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

$$P_d = 0.033 \quad \text{МПа}$$

### Вес аппарата:

$$A_k := (10.32 \cdot 10^6) \quad \text{- площадь эллиптических крышек, мм}^2$$

$$A_1 := \pi \cdot D \cdot L \quad \text{- площадь корпуса.}$$

$$G_1 := \begin{cases} A_k \leftarrow (10.32 \cdot 10^6) \\ A_1 \leftarrow \pi \cdot D \cdot L \\ m_k \leftarrow \rho \cdot (2 \cdot A_k \cdot s + A_1 \cdot s) \cdot 10^{-9} \\ G_1 \leftarrow 9.8 \cdot m_k \end{cases}$$

$$G_2 := 1.3 \cdot G_1 = 1.718 \times 10^5 \text{ Н}$$

Вес воды:

$$G_B := \rho_B \cdot (V \cdot g) = 9.8 \times 10^5 \text{ Н}$$

Полный вес аппарата:

$$\underline{\underline{G}} := G_2 + G_B = 1.152 \times 10^6 \text{ Н}$$

Выбираем 2 опоры аппарата исходя из веса, приходящегося на одну опору [11].

Таблица 2.2.5- Основные размеры опоры

| И<br>сп<br>. | G*1<br>0 <sup>2</sup> ,<br>МН | Dв,<br>мм | R,<br>м<br>м | L,<br>м<br>м | L <sub>1</sub> ,<br>м<br>м | l,м<br>м | l <sub>1</sub> ,<br>мм | h,м<br>м | h <sub>1</sub> ,<br>мм | A,<br>мм | A <sub>1</sub> ,<br>мм | S <sub>1</sub> ,<br>мм | S <sub>2</sub> ,<br>мм | Мас<br>са ,<br>кг |
|--------------|-------------------------------|-----------|--------------|--------------|----------------------------|----------|------------------------|----------|------------------------|----------|------------------------|------------------------|------------------------|-------------------|
| I            | 63                            | 300<br>0  | 15<br>20     | 26<br>40     | 26<br>60                   | 25<br>60 | 12<br>46               | 88<br>0  | 32<br>0                | 22<br>00 | 180<br>0               | 14                     | 20                     | 316               |

**Проверка применимости формул:**

$$\text{PrOV} := \begin{cases} \text{"Формулы применимы"} & \text{if} \\ \text{"Формулы НЕ применимы"} & \text{otherwise} \end{cases} \begin{cases} A_k \geq (s - c) \cdot \sqrt{D \cdot (s - c)} \\ 60 \cdot \text{deg} \leq \delta_1 \leq 180 \cdot \text{deg} \\ \frac{s - c}{D} \leq 0.5 \\ s_2 \geq s \end{cases}$$

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

**Нагрузки на корпус аппарата:**

$$q := \frac{G}{L + \frac{4 \cdot H}{3}} \quad q = 81.805 \frac{\text{H}}{\text{мм}}$$

$$M_0 := q \cdot \frac{D^2}{16} \quad M_0 = 4.602 \times 10^7 \text{ H} \cdot \text{мм}$$

**Опорное усилие:**

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

$$F_1 = 5.759 \times 10^5 \text{ H}$$

**Момент над опорой:**

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

$$M_1 = 4.021 \times 10^8 \text{ H} \cdot \text{мм}$$

**Максимальный момент между опорами:**

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

$$M_{12} = 3.224 \times 10^8 \text{ H} \cdot \text{мм}$$

**Поперечное усилие в сечении оболочки над опорой:**

$$Q_1 := \frac{L - 2 \cdot a}{L + \frac{4}{3} \cdot H} \cdot F_1 \quad Q_1 = 3.272 \times 10^5 \quad \text{Н}$$

**Допускаемый изгибающий момент:**

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

$$M_d = 1.182 \times 10^{10} \quad \text{Н} \cdot \text{мм}$$

**Проверка несущей способности обечайки в сечении между опорами.**

**Проверка условия :**

$$\text{Проверка1} := \begin{cases} \text{"Несущую способность обечайки в сечении между опорами следует проверить."} & \text{if } M_{12} > M_1 \\ \text{"Проверка не нужна"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{Проверка1} = \text{"Проверка не нужна"}$$

**Проверка несущей способности обечайки, неукреплённой кольцами жесткости в области опорного узла**

**Параметр, определяемый расстоянием до днища:**

$$\gamma := 2.83 \cdot \frac{a}{D} \cdot \sqrt{\frac{(s - c)}{D}} \quad \gamma = 0.136$$

**Параметр, определяемый шириной пояса опоры:**

$$\beta_1 := 0.91 \cdot \frac{b}{\sqrt{D \cdot (s - c)}} \quad \beta_1 = 2.627$$

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

$$\sigma_{\text{mx}} := \frac{4 \cdot M_1}{\pi \cdot D^2 \cdot (s - c)} \quad \sigma_{\text{mx}} = 5.689 \text{ МПа}$$

**Выберите вид обечайки:**

u :=  
 Цилиндрическая обечайка без подкладных листов  
 Цилиндрическая обечайка с подкладными листами

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

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

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

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

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

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

**Предельные напряжения изгиба  $\sigma_{i2}$ ,  $\sigma_{i3}$ :**

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

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

$$K_2 = 1.05$$

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

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

$K_{12}$  -коэффициент, учитывающий влияние угла охвата:

$$K_{12} := \frac{1.15 - 0.1432 \cdot \delta}{\sin(0.5 \cdot \delta)} \quad K_{12} = 0.851$$

$K_{14}$  -коэффициент, учитывающий влияние угла охвата:

$$K_{14} := \frac{1.45 - 0.43 \cdot \delta}{\sin(0.5 \cdot \delta)} \quad K_{14} = 0.425$$

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

$$K_{16} := 1 - \frac{0.65}{1 + (6 \cdot \gamma)^2} \cdot \sqrt{\frac{\pi}{3 \cdot \delta}} \quad K_{16} = 0.745$$

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

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

$K_{13}$  - коэффициент, учитывающий влияние угла охвата:

$$K_{13} := \frac{\max\left(1.7 - \frac{2.1 \cdot \delta}{\pi}, 0\right)}{\sin(0.5 \cdot \delta)} \quad K_{13} = 0.071$$

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

$$K_{15} := \min\left(1, \frac{0.8 \cdot \sqrt{\gamma} + 6 \cdot \gamma}{\delta}\right) \quad K_{15} = 0.455$$

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

$$K_{11} := \frac{1 - e^{-\beta_1} \cdot \cos(\beta_1)}{\beta_1} \quad K_{11} = 0.381$$

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

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

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

$$v_{213} := 0$$

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

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

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

$$K_{112} = 1.492$$

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

$$K_{122} = 0.482$$

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

$$K_{113} = 1.499$$

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

$$K_{123} = 0.578$$

$$K_{1.2} := \min(K_{112}, K_{122}) \quad K_{1.2} = 0.482$$

$$K_{1.3} := \min(K_{113}, K_{123}) \quad K_{1.3} = 0.578$$

$$\sigma_{i2} := K_{1.2} \cdot K_2 \cdot \sigma_d \quad \sigma_{i2} = 122.028 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{i3} := K_{1.3} \cdot K_2 \cdot \sigma_d \quad \sigma_{i3} = 146.245 \text{ МПа}$$

$$F_{d2} := \frac{0.7 \cdot \sigma_{i2} \cdot \sqrt{D \cdot (s - c)} \cdot (s - c)}{K_{10} \cdot K_{12}} \quad F_{d2} = 6.951 \times 10^5 \text{ Н}$$

$$F_{d3} := \frac{0.9 \cdot \sigma_{i3} \cdot \sqrt{D \cdot (s - c)} \cdot (s - c)}{K_{14} \cdot K_{16} \cdot K_{17}} \quad F_{d3} = 1.814 \times 10^6 \text{ Н}$$

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

**Проверка условия прочности:**

$$\text{Проверка3} := \begin{cases} \text{"Условие прочности выполняется."} & \text{if } F_1 \leq \min(F_{d2}, F_{d3}) \\ \text{"Условие прочности НЕ выполняется."} & \text{otherwise} \\ \text{"Проверка не выполняется"} & \text{if } z = 2 \end{cases}$$

Проверка3 = "Условие прочности выполняется."

**Проверка условия устойчивости:**

$$\frac{P_v}{P_d} + \frac{M_1}{M_d} + \frac{F_e}{F_d} + \left( \frac{Q}{Q_d} \right)^2 \leq 1$$

- где  $F_e$  - эффективное осевое усилие от местных мембранных напряжений, действующих в области опоры.

$$F_e := F_1 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot \sqrt{\frac{D}{(s - c)}} \cdot K_{13} \cdot K_{15} \quad F_e = 2.53 \times 10^5 \text{ Н}$$

*Допускаемое поперечное усилие:*

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

$$Q_d = 3.574 \times 10^6 \quad \text{Н}$$

*Допускаемое усилие из условия устойчивости:*

$$F_d := \pi \cdot [D + (s - c)] \cdot (s - c) \cdot \sigma_d \quad F_d = 2.279 \times 10^7 \quad \text{Н}$$

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

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

Результатами данного расчета является выбор опоры аппарата, а также выполнение условий несущей способности обечайки, неукрепленной кольцами жесткости в области опорного узла, и проверка условия устойчивости аппарата.

### 3. Расчет нефтегазового отстойника

Исходные данные:

Материал аппарата: сталь 09Г2С конструкционная низколегированная для сварных конструкций. Выбрали эту сталь т.к. она морозостойкая.

Марка стали 09Г2С находит свое применение при изготовлении деталей сварных металлоконструкций, работающих в широком интервале температур от  $-70$  до  $+425^{\circ}\text{C}$ . Это детали работающих в условиях высокого давления. Сталь 09Г2С применяется в химической промышленности, а также в производстве труб.

Физические свойства стали 09Г2С достаточны для того, чтобы обеспечить прочность фасонного, сортового и полосового металлопроката при различных толщинах (от 10 до 100мм). При этом какой-либо дополнительной обработки не потребуется.

Рабочее давление в отстойнике:  $p = 0.6$  МПа;

Рабочая температура:  $t_{\text{раб}} = -40-100$  °С;

Производительность: по нефтяной эмульсии  $Q_{\text{ж}} = 15000$  м<sup>3</sup>/сутки или 0.137 м<sup>3</sup>/с; От общей смеси нефть и вода составляют 45 % и 55 % соответственно.

Плотность стали 09Г2С: 7850 кг/м<sup>3</sup>.

#### 3.1. Технологический и конструктивный расчет отстойника

##### 3.1.1. Расчет геометрических размеров аппарата

Определим скорость свободного осаждения капель воды по уравнению Стокса [2]:

$$\rho_{\text{в}} := 1015 \text{ -плотность воды, } \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}.$$

$$\rho_{\text{н}} = 838 \text{ -плотность нефти, } \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}.$$

$$\mu_{\text{н}} := 4.6928 \cdot 10^{-3} \text{ -динамическая вязкость нефти, Па} \cdot \text{с}$$

$$g := 9.8 \text{ -ускорение свободного падения, } \frac{\text{м}}{\text{с}^2}.$$

$$d := 0.34 \cdot 10^{-5} \text{ -диаметр частицы, м.}$$

$$\omega_0 := d^2 \frac{(\rho_{\text{в}} - \rho_{\text{н}}) \cdot g}{18 \cdot \mu_{\text{н}}} = 2.374 \times 10^{-3} \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

С помощью критерия Рейнольдса определим режим осаждения капель воды [2]:

$$\rho_{\text{с}} := \rho_{\text{в}} \cdot 0.55 + \rho_{\text{н}} \cdot 0.45 = 935.35 \text{ -плотность нефтяной эмульсии, } \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}.$$

$$\mu_{\text{в}} := 0.2825 \cdot 10^{-3} \text{ -динамическая вязкость воды, Па} \cdot \text{с.}$$

$$\mu_{\text{с}} := 0.55 \cdot \mu_{\text{в}} + 0.45 \cdot \mu_{\text{н}} = 2.267 \times 10^{-3} \text{ -динамическая вязкость нефтяной эмульсии, Па} \cdot \text{с.}$$

$$Re := \omega_0 \cdot \rho_{\text{с}} \cdot \frac{d}{\mu_{\text{с}}} = 0.333$$

Так как критерий Рейнольдса меньше 2, следовательно, режим осаждения частиц ламинарный [2].

Определим диаметр отстойника:

$$B := 0.55 \text{ -обводненность нефти.}$$

$$Q := \frac{Q_{\text{ж}} \cdot \rho_{\text{с}}}{24 \cdot 3600 \cdot 1000} = 0.162 \text{ -массовый расход нефтяной эмульсии, } \frac{\text{т}}{\text{с}}.$$

$$D := 0.6 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{Q \cdot \rho_{\text{с}} \cdot (1 - B)^{2.5}}{\mu_{\text{н}}} = 2.638 \text{ м}$$

Принимаем диаметр отстойника  $D=3.4$  м.

Рассчитаем время осаждения капли [2]:

$H := 3$  -высота нефтяной эмульсии, м.

$$\tau := \frac{H}{\omega_0} = 1.264 \times 10^3 \text{ с}$$

Рассчитываем горизонтальную скорость [2]:

$$\omega_{\text{гор}} := Q_{\text{ж}} \cdot \frac{4}{\pi \cdot D^2} = 0.015 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

Определяем длину отстойного аппарата [2]:

$$L := \tau \cdot \omega_{\text{гор}} = 19.07 \text{ м}$$

Выбираем стандартный отстойник диаметром  $D=3.4$  м и длиной  $L=20850$  м и объемом  $V=200$  м<sup>3</sup>.

### 3.1.2. Расчет и подбор патрубков

Принимаем  $\omega_{\text{н}}$ ,  $\omega_{\text{в}}$ ,  $\omega_{\text{ж}}$  – скорости для нефти, воды и нефтяной эмульсии, соответственно, 0.1 м/с:

Определяем диаметр патрубка для входа нефтяной эмульсии, м:

$$d_{\text{у}} := \sqrt{4 \cdot \frac{Q_{\text{ж}}}{\pi \cdot \omega_{\text{ж}} \cdot 24 \cdot 3600}} = 0.47$$

,где  $Q_{\text{ж}}$  – производительность по нефтяной эмульсии 15000 м<sup>3</sup>/сут.

По ГОСТ 2820-80 примем штуцер с  $D_{\text{у}}=500$  мм и соответствующий фланец [3,с.549].

Определяем диаметр патрубка для выхода нефти, м:

$$d_{\text{ун}} := \sqrt{4 \cdot \frac{Q_{\text{ж}} \cdot 0.45}{\pi \cdot \omega_{\text{н}} \cdot 24 \cdot 3600}} = 0.315$$

По ГОСТ 2820-80 примем штуцер с  $D_{\text{у}}=400$  мм и соответствующий фланец [3,с.549].

Определяем диаметр патрубка для выхода воды, м:

$$d_{\text{ув}} := \sqrt{4 \cdot \frac{Q_{\text{ж}} \cdot 0.55}{\pi \cdot \omega_{\text{в}} \cdot 24 \cdot 3600}} = 0.349$$

По ГОСТ 2820-80 примем штуцер с  $D_y = 400$  мм и соответствующий фланец [3,с.549].

В процессе отстоя из нефтяной эмульсии будет выделяться газ в связи с этим подбираем по ГОСТ 2820-80 штуцер для выхода газа с  $D_y = 400$  мм и соответствующий фланец [3,с.549].

**Таблица 3.1.2- Основные размеры фланцев**

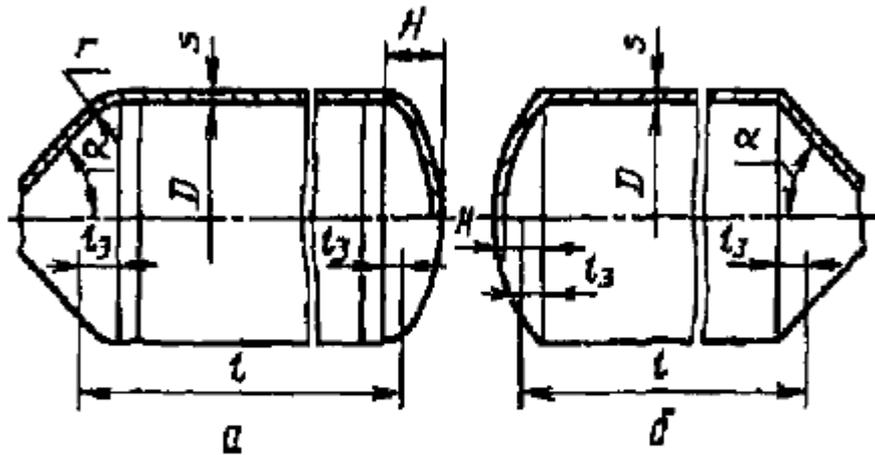
| $D_y$ , мм | $D_H$ | $D_6$ | $d_6$ | $z$ | $m$ ,кг |
|------------|-------|-------|-------|-----|---------|
| 400        | 565   | 515   | M24   | 16  | 26      |
| 500        | 670   | 620   | M24   | 20  | 27,7    |

### **3.2.Механический расчет отстойника**

#### **3.2.1. Расчет толщины обечайки и крышек**

Целью данного механического расчета является определение толщины стенки обечайки и эллиптических днищ для надежной работы аппарата.

Расчет ведем по ГОСТ Р 52857.2-2007 [4].



а — обечайка с отбортованными днищами; б — обечайка с неотбортованными днищами

Рис.3.2.1. Расчетная схема цилиндрической обечайки с выпуклыми или коническими днищами

Исходные данные:

$P := 0.6$  -рабочее давление, МПа.

$t := 100$  -температура среды,  $^{\circ}\text{C}$ .

$\Pi := 0.04$  -скорость коррозии,  $\frac{\text{мм}}{\text{год}}$

$Y := 20$  -срок эксплуатации, лет

$v := 200$  -объем емкости,  $\text{м}^3$ .

Материал 09Г2С.

**Вид сварного шва и способ сварки:**

Стыковой, выполняемый вручную с одной стороны. Длина контролируемых швов от общей длины составляет 100 %\*.

$\phi_p := 0.9$  - коэффициент прочности продольных сварных швов.

В соответствии с ГОСТ 9931-85 [5] геометрические размеры корпуса стального сварного сосуда.

$g := 9.8$  -ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>.

$D := 3400$  -внутренний диаметр, мм.

$l := 20850$  -длина обечайки, мм.

$H := 20850$  -длина цилиндрической части, мм.

Согласно ГОСТ Р 52857.1-2007 [6] определяем коэффициенты запаса прочности и устойчивости:

$\eta := 1$  -коэффициент запаса прочности.

$n_T := 1.1$  -коэффициент прочности при гидравлическом испытании.

$R_{02} := 300$  -предел текучести материала, МПа.

При  $t_0=20$  °С берем  $\sigma=196$ . При  $t_0=100$  °С согласно примечанию в ГОСТ52857.1-2007 [6]:

$\sigma := 177$  МПа

**Выбираем коэффициент прочности сварного шва для стыкового, выполняемого в ручную с одной стороны:**

$\phi := 0.9$

$x := (20 \ 100)^T$   $y := (196 \ 177)^T$

$\sigma_t := \text{Floor}(\text{linterp}(x, y, t), 0.5) = 177$  МПа

Допускаемое напряжение принимаем при  $T=100$  °С.

$\sigma_{20} := 196$  -допускаемое напряжение материала при нормальных условиях, МПа.

$\rho := 935.35$  -плотность среды, кг/м<sup>3</sup>.

**Расчетное значение внутреннего избыточного давления, МПа:**

$$P_r := P + \frac{\rho \cdot g \cdot D}{10^9} = 0.631$$

**Пробное давление при гидравлическом испытании внутри аппарата, МПа:**

$$\sigma_{\text{н}} := \text{Floor}\left(\frac{R_{02}}{n_T}, 1\right) = 272$$

$$\sigma_{20} := \text{Floor}(\eta \cdot \sigma_{20}, 1) = 196$$

**Давление для испытания на прочность, МПа:**

$$P_{\text{пр}} := 1.25 \cdot P \cdot \frac{\sigma_{20}}{\sigma_t} = 0.831$$

**Расчет толщины стенки при гидравлическом испытании и при рабочем давлении.**

**Расчет толщины стенки цилиндрической обечайки, мм:**

$$s_p := \max\left[\frac{P_r \cdot D}{(2 \cdot \phi_p \cdot \sigma_t - P_r)}, \frac{P_{\text{пр}} \cdot D}{(2 \cdot \phi_p \cdot \sigma_{\text{н}} - P_{\text{пр}})}\right] = 6.749$$

$c1 := Y \cdot \Pi = 0.8$  — сумма прибавок к расчетным толщинам стенок, мм;

$c2 := 2$

$c := \text{Ceil}(c1 + c2, 1) = 3$   $c1$  — прибавка для компенсации коррозии и эрозии, мм;

$S_{\text{ЦО}} := \text{ceil}(s_p + c) = 10$   $c2$  — прибавка для компенсации

$s_p + c = 9.749$  минусового допуска, мм;

$S_{\text{ЦО}} = 10$  мм

Принимаем толщину стенки эллиптической обечайки:  $S_d = 18$  мм

**Расчет толщины стенки стандартных эллиптических крышек, мм:**

$$S_p := \max\left[\frac{P_r \cdot D}{(2 \cdot \phi_p \cdot \sigma_t - 0.5P_r)}, \frac{P_{\text{пр}} \cdot D}{(2 \cdot \phi_p \cdot \sigma_{\text{н}} - 0.5P_{\text{пр}})}\right] = 6.742$$

$c1 := Y \cdot \Pi = 0.8$

$c2 := 2$

$\text{Ceil}(c1 + c2, 1) = 3$  мм

$\text{ceil}(S_p + c) = 10$  мм

Принимаем толщину стенок стандартных эллиптических крышек:  $S_{\text{ЭК}} = 20$  мм

Результатом данного расчета является принятые толщины стенок обечайки и эллиптических днищ 18 и 20 миллиметров соответственно.

### 3.2.2. Подбор крышек

Наиболее рациональной формой для цилиндрических аппаратов является эллиптическая. Эллиптические днища и крышки изготавливаются из листового проката штамповкой и могут использоваться в аппаратах с избыточным давлением до 10 МПа.

Подбираем стандартные стальные не отбортованные эллиптические крышки по ГОСТ 6533-78 [4], параметры которых примем при  $D=3400$  мм:

Таблица 3.2.2- Внутренние базовые размеры для днища эллиптического не отбортованного стального по ГОСТу 6533-68 [5]

| $D_B, \text{мм}$ | $h_B, \text{мм}$ | $F_B, \text{внутренняя поверхность днища, м}^2$ | $V, \text{дм}^3$ | $H, \text{мм}$ | $m, \text{кг}$ |
|------------------|------------------|---|------------------|----------------|----------------|
| 3400             | 910              | 13.17   | 5666.2           | 60             | 1462,2         |

### 3.2.3. Расчет необходимости укрепления отверстий

Целью данного механического расчета является определение необходимости укрепления отверстий в цилиндрической обечайке для надежной работы аппарата.

Расчет укреплений отверстий в цилиндрической обечайке, нагруженной внутренним давлением, ведется по ГОСТ Р 52857.3-2007 [8].

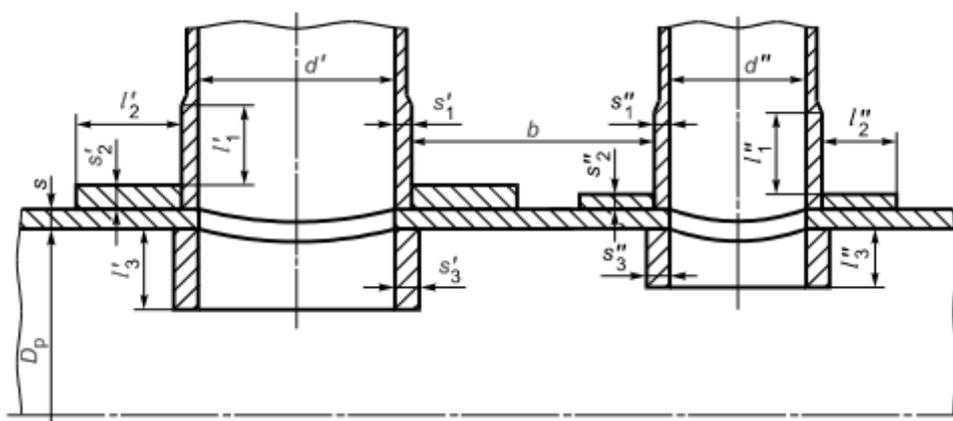


Рис 3.2.3. Расчетная схема укрепления отверстий

Расчиываем самое большое отверстие в отстойнике, а именно люк-лаз.

#### Исходные данные:

|   |                               |
|---|-------------------------------|
| Внутренний диаметр оболочки, мм:                      | $D := 3400$                   |
| Внутреннее расчетное давление, МПа:                   | $P_r := 0.631$                |
| Расчётная температура, $C^0$ :                        | $t_R := 100$                  |
| Исполнительная толщина стенки оболочки, мм:           | $s := 20$                     |
| Расстояние от центра укрепления отверстия до оси, мм: | $x := 700$                    |
| Диаметр отверстия, мм:                                | $d_1 := 500$                  |
| Толщина стенки (внутренней) штуцера, мм:              | $s_1 := 14$                   |
| Толщина стенки (внешней) штуцера, мм:                 | $s_3 := 14$                   |
| Длина внешней части штуцера, мм:                      | $l_1 := d_1 \cdot 0.65 = 325$ |

|  |                    |
|--|--------------------|
| Длина внутренней части штуцера, мм:    | $l_3 := 6$         |
| Ширина накладного кольца, мм:          | $l_2 := 0.5d_1$    |
| Ширина накладного кольца, мм:          | $l_{21} := 0.5d_2$ |
| Толщина накладного кольца, мм:         | $s_2 := s$         |
| Прибавка расчетной толщины стенки, мм: | $c := 2$           |
| Коэффициент прочности сварных швов:    | $\phi := 0.9$      |

Допускаемое напряжение для материала при расчётной температуре, МПа:

$$\sigma_d := 177$$

Допускаемое напряжение для материала накладного кольца при расчетной температуре, МПа:

$$\sigma_{d1} := \sigma_d$$

Допускаемое напряжение для материала внешней части штуцера при расчетной температуре, МПа:

$$\sigma_{d2} := \sigma_d$$

Допускаемое напряжение для материала внутренней части штуцера при расчетной температуре, МПа:

$$\sigma_{d3} := \sigma_d$$

Высота , мм:  $h := 0.25 \cdot D$

### Расчёт укрепления отверстия в оболочке:

Выбор типа оболочки:

$$n := \begin{matrix} \text{цилиндрическая} \\ \text{эллиптическая} \end{matrix} \quad n = 2$$

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

**Расчётный диаметр оболочки, мм:**

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

$$D_p = 6.353 \times 10^3$$

Tip = "эллиптическая оболочка"

**Расчётный диаметр наибольшего отверстия в стенке крышки, мм:**

$$d1_p := \begin{cases} d1_p \leftarrow d1 + 2 \cdot c & \text{if } n = 1 \\ d1_p \leftarrow \frac{(d1 + 2 \cdot c)}{\sqrt{1 - \left(2 \cdot \frac{x}{D_p}\right)^2}} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$d1_p = 516.702$$

Проверка условий применения формул для расчёта укрепления отверстий:

Для первого отверстия:

$$Usl := \begin{cases} \text{if } n = 1 \\ \quad \begin{cases} \text{"отношение диаметров НЕ выполняется"} & \text{if } \frac{(d1_p - 2 \cdot c)}{D} > 1 \\ \text{"отношение толщины к диаметру НЕ выполняется"} & \text{if } \frac{(s - c)}{D} > 0.1 \\ \text{"условия применения формул выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases} \\ \text{if } n = 2 \\ \quad \begin{cases} \text{"отношение диаметров НЕ выполняется"} & \text{if } \frac{(d1_p - 2 \cdot c)}{D} > 0.6 \\ \text{"отношение толщины к диаметру НЕ выполняется"} & \text{if } \frac{(s - c)}{D} > 0.1 \\ \text{"условия применения формул выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases} \end{cases}$$

Tip = "эллиптическая оболочка"

Usl = "условия применения формул выполняется"

**Расчётная толщина стенки оболочки:**

$$s_p := \begin{cases} s_p \leftarrow \frac{P_r \cdot D_p}{2 \cdot \phi \cdot \sigma_d - P_r} & \text{if } n = 1 \\ s_p \leftarrow \frac{P_r \cdot D_p}{4 \cdot \phi \cdot \sigma_d - P_r} & \text{otherwise} \end{cases}$$
$$s_p = 6.297 \text{ мм}$$

**Расчётная толщина стенки штуцера:  
для наибольшего отверстия**

$$s_{1p}' := \frac{P_r \cdot (d1 + 2 \cdot c)}{2 \cdot \sigma_{d1} \cdot \phi - P_r} = 1 \text{ мм}$$

**Расчётные длины штуцеров:**

$$l_{11p} := \min \left[ l_1, \sqrt{(d1 + 2 \cdot c) \cdot (s - c)} \right] \quad l_{11p} = 95.247 \text{ мм}$$

$$l_{31p} := \min \left[ l_3, 0.5 \cdot \sqrt{(d1 + 2 \cdot c) \cdot (s_3 - 2 \cdot c)} \right] \quad l_{31p} = 6 \text{ мм}$$

**Расчётная ширина накладного кольца:**

$$l_{21p} := \min \left[ l_2, \sqrt{D_p \cdot (s_2 + s - c)} \right] \quad l_{21p} = 250 \text{ мм}$$

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

$$l_{1p} := \sqrt{D_p \cdot (s - c)} = 338.161 \text{ мм}$$

**Отношения допускаемых напряжений: для внешней части штуцера:**

$$\chi_1 := \min \left( 1, \frac{\sigma_{d1}}{\sigma_d} \right) \quad \chi_1 = 1$$

**для накладного кольца:**

$$\chi_2 := \min \left( 1, \frac{\sigma_{d2}}{\sigma_d} \right) \quad \chi_2 = 1$$

**для внутренней части штуцера:**

$$\chi_3 := \min \left( 1, \frac{\sigma_{d3}}{\sigma_d} \right) \quad \chi_3 = 1$$

Расчётный диаметр одиночного отверстия, не требующий дополнительного укрепления:

$$d1_{op} := 0.4 \cdot \sqrt{D_p \cdot (s - c)} = 135.265 \text{ мм}$$

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

$$d1_o := 2 \cdot \left[ \left( \frac{s - c}{s_p} \right) - 0.8 \right] \cdot \sqrt{D_p \cdot (s - c)} = 1.392 \times 10^3 \text{ мм}$$

Проверка необходимости укрепления отверстия:

$$P_{rov} := \begin{cases} \text{"Необходимо укрепление отверстия"} & \text{if } d1_o < d1 \\ \text{"Укрепление не требуется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Tip = "эллиптическая оболочка"

P<sub>rov</sub> = "Укрепление не требуется"

**Проверка условия укрепления одиночного отверстия:**

$$A_{11} := l_{1n} \cdot (s_1 - s'_{1n} - c) \cdot \chi_1 = 1.048 \times 10^3 \text{ мм}$$

$$A_{21} := l_{2p} \cdot s_2 \cdot \chi_2 = 5 \times 10^3 \text{ мм}$$

$$A_{31} := l_{3n} \cdot (s_3 - c - c) \cdot \chi_3 = 60 \text{ мм}$$

$$A_{1p.c} := l_{1p} \cdot (s - s_p - c) = 3.957 \times 10^3 \text{ мм}$$

$$A_{1p} := 0.5 \cdot (d1_p - d1_{op}) \cdot s_p = 1.201 \times 10^3 \text{ мм}$$

$$Summa1 := A_{11} \cdot \chi_1 + A_{21} \cdot \chi_2 + A_{31} \cdot \chi_3 + A_{1p.c} = 1.007 \times 10^4$$

$$P_{rov}' := \begin{cases} \text{"условие укрепления выполняется"} & \text{if } Summa1 \geq A_{1p} \\ \text{"условие укрепления НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Tip = "эллиптическая оболочка"

P<sub>rov</sub>' = "условие укрепления выполняется"

Результатами данного расчета является определение наибольшего диаметра одиночного отверстия, не требующий дополнительного укрепления равному 135.265 мм и диаметр одиночного отверстия, не требующий дополнительного укрепления при наличии избыточной толщины стенки сосуда равному 1392 мм, а так же проверка условий

необходимости укрепления отверстия и условия укрепления одиночного отверстия.

### 3.2.4. Расчет фланца

Целью данного механического расчета является определение надежности фланцевого соединения.

В связи с тем что в аппарате находится агрессивная среда выбираем :

Тип фланца: фланцевое соединение приварное встык.

Тип уплотнительной поверхности: шип-паз.

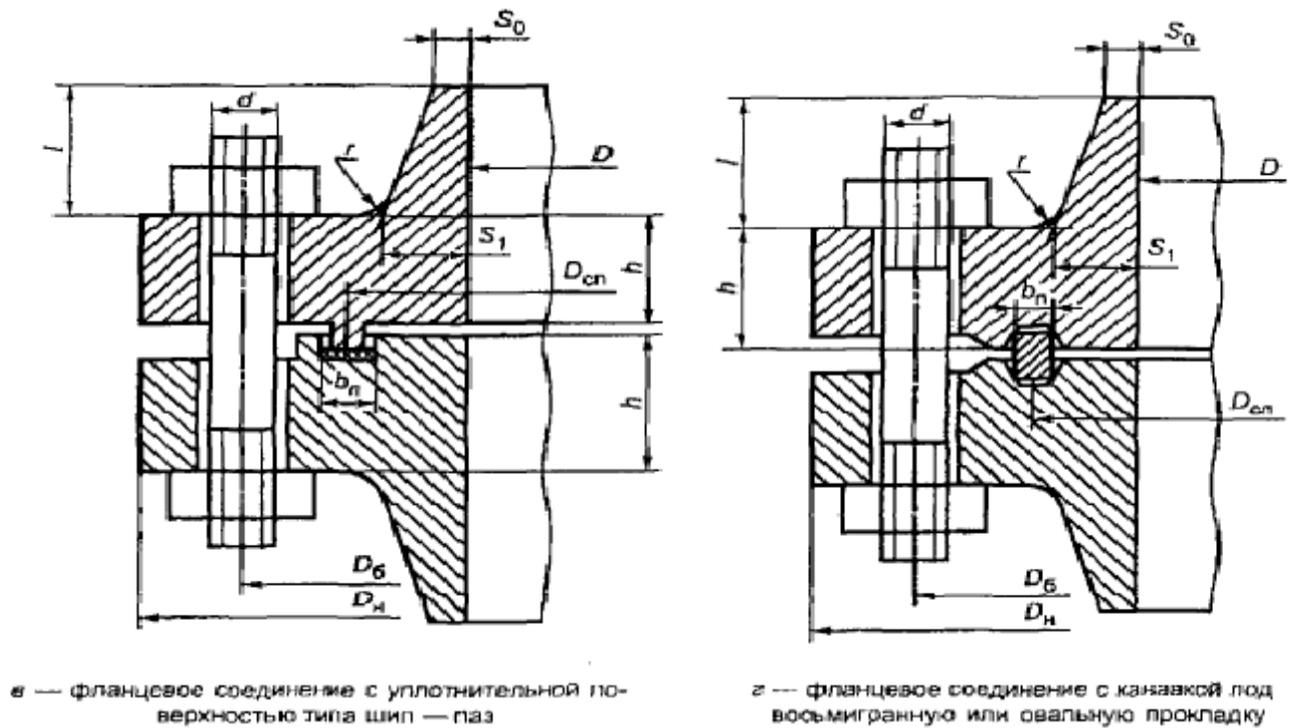


Рис.3.2.4. Расчетная схема фланцевого соединения с приварными встык фланцами

Расчет ведем по ГОСТ Р 52857.4-2007 [9].

**Исходные данные:**

$D := 500$  -внутренний диаметр фланца,мм.

$D_H := 670$  -наружный диаметр фланца,мм.

$D_6 := 620$  -диаметр окружности расположения болтов,мм.

$D_{сп} := 550$  -расчетный диаметр прокладки,мм.

$b_{II} := 16$  -ширина прокладки,мм.

$h := 38$  -высота,мм.

$h_{II} := 3$  -толщина прокладки,мм.

$S_0 := 15$  -толщина втулки приварного встык фланца,мм.

$d := 24$  -наружный диаметр болта,мм.

$n := 20$  -число болтов.

$P_{пр} := 0.831$ -пробное давление,МПа.

$M := 0$  -изгибающий момент,Н\*мм.

$F := 0$  -осевая сила,Н.

$c_o := 2$  -прибавка на коррозию,мм.

$t := 100$  -расчетная температура, $^{\circ}\text{C}$ .

Материал патрубков и фланцев - сталь 09Г2С

Материал болтов - сталь 35Х

Материал прокладки - паронит ПОН.

Выбор крепежных элементов:

$bs :=$   
 Болты  
 Шпильки  $bs = 1$

### *Определение расчетных параметров*

Расчетные температуры.

расчетная температура неизолированных приварного встык фланцев  
 $t_{\phi} = 0,96 t$ :

$$t_{\phi} := 0.96 \cdot t \quad t_{\phi} = 96 \text{ } ^{\circ}\text{C}$$

расчетная температура болтов:

$$t_{\sigma} := 0.85 \cdot t \quad t_{\sigma} = 85 \text{ } ^{\circ}\text{C}$$

Допускаемые напряжения для болтов из стали 35Х:

В рабочем состоянии:

$$t := \begin{pmatrix} 20 \\ 100 \end{pmatrix} \quad \sigma := \begin{pmatrix} 230 \\ 225 \end{pmatrix}$$

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

$$\sigma_{д.б} = 225.5 \text{ МПа}$$

Модуль упругости для болтов при рабочей температуре:

$$E_{\sigma} := 2.14 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

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

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

Модуль упругости для болтов при температуре испытания  $20 \text{ }^{\circ}\text{C}$ :

$$E_{20\text{б}} := 2.18 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

Коэффициент линейного расширения стали 35Х при  $t = 20\text{-}100 \text{ }^{\circ}\text{C}$ :

$$\alpha_{\text{б}} := 13.4 \cdot 10^{-6} \text{ 1/К}$$

Допускаемые напряжения для фланцев и обечаек стали 09Г2С:

$$t := \begin{pmatrix} 20 \\ 100 \end{pmatrix} \quad \sigma := \begin{pmatrix} 196 \\ 177 \end{pmatrix}$$

$$\sigma := \text{Floor}(\text{linterp}(t, \sigma, t_{\text{ф}}), 0.5) \quad \sigma = 177.5 \text{ МПа}$$

Мембранные напряжения:

$$\sigma_{\text{д.ф}} := 1.5 \cdot \sigma \quad \sigma_{\text{д.ф}} = 266.25 \text{ МПа}$$

Допускаемое напряжение для стали 09Г2С при  $t = 20 \text{ }^{\circ}\text{C}$ :

$$\sigma_{20} := 196 \text{ МПа} \quad \sigma_{\text{д}20} := \eta \cdot \sigma_{20} \quad \sigma_{\text{д}20} = 196 \text{ МПа}$$

Модуль упругости для стали 09Г2С при температуре испытания  $20 \text{ }^{\circ}\text{C}$ :

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

Коэффициент линейного расширения стали 09Г2С при  $t = 20 \text{ -}100 \text{ }^{\circ}\text{C}$  :

$$\alpha_{\text{ф}} := 11.6 \cdot 10^{-6} \text{ 1/К}$$

Эффективная ширина плоской прокладки:

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

$$b_0 = 16 \text{ мм}$$

Характеристики прокладки по ГОСТ Р 52857.4-2007 [7]:

$m := 2.5$  -прокладочный коэффициент.

$q_{обж} := 20$  -удельное давление обжатия прокладки, МПа.

$q_d := 130$  -допускаемое удельное давление, МПа.

$K_{обж} := 0.9$  -коэффициент обжатия.

$E_{\Pi} := 200$  -условный модуль сжатия прокладки, МПа.

Усилие, необходимое для смятия прокладки при затяжке:

$$P_{обж} := 0.5\pi \cdot D_{сп} \cdot b_0 \cdot m \cdot |P_{пр}| \quad P_{обж} = 2.872 \times 10^4 \text{ Н}$$

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

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

$$R_{\Pi} = 5.743 \times 10^4 \text{ Н}$$

Площадь поперечного сечений болтов (шпилек) по таблице 4.3:

$$f_{\text{б}} := 225 \text{ мм}^2$$

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

$$A_{\text{б}} := n \cdot f_{\text{б}} \quad A_{\text{б}} = 4.5 \times 10^3 \text{ мм}^2$$

Равнодействующая нагрузка от давления:

$$Q_{\text{д}} := \frac{\pi}{4} \cdot (D_{сп})^2 \cdot P_{пр} \quad Q_{\text{д}} = 1.974 \times 10^5 \text{ Н}$$

Приведенная нагрузка, вызванная воздействием внешней силы и изгибающего момента:

$$Q_{\text{FM}} := \max\left(\left|F + \frac{4 \cdot |M|}{D_{сп}}\right|, \left|F - \frac{4 \cdot |M|}{D_{сп}}\right|\right) \quad Q_{\text{FM}} = 0 \text{ Н}$$

Податливость прокладки:

$$y_{\Pi} := \frac{h_{\Pi} \cdot K_{обж}}{E_{\Pi} \cdot \pi \cdot D_{сп} \cdot b_{\Pi}} \quad y_{\Pi} = 4.883 \times 10^{-7} \text{ мм/Н}$$

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

$$L_{60} := 62 \text{ мм}$$

Эффективная длина болта (шпильки) при определении податливости:

$$L_6 := \begin{cases} L_{60} + 0.28 \cdot d & \text{if } bs = 1 \\ L_{60} + 0.56 \cdot d & \text{if } bs = 2 \end{cases} \quad L_6 = 68.72 \text{ мм}$$

Податливость болтов:

$$y_6 := \frac{L_6}{E_{206} \cdot A_6} \quad y_6 = 7.005 \times 10^{-8} \text{ мм/Н}$$

Расчетные параметры фланцев:

- параметр длины обечайки:

$$l_0 := \sqrt{D \cdot S_0} \quad l_0 = 89.443 \text{ мм}$$

- отношение наружного диаметра тарелки фланца к внутреннему диаметру:

$$K := \frac{D_H}{D} \quad K = 1.34$$

- коэффициенты, зависящие от соотношения размеров тарелки фланца:

$$\beta_T := \frac{K^2 \cdot (1 + 8.55 \cdot \log(K)) - 1}{(1.05 + 1.945 \cdot K^2) \cdot (K - 1)} \quad \beta_T = 1.779$$

$$\beta_U := \frac{K^2 \cdot (1 + 8.55 \cdot \log(K)) - 1}{1.36 \cdot (K^2 - 1) \cdot (K - 1)} \quad \beta_U = 7.467$$

$$\beta_Y := \frac{1}{(K - 1)} \left[ 0.69 + 5.72 \cdot \frac{K^2 \cdot \log(K)}{(K^2 - 1)} \right] \quad \beta_Y = 6.855$$

$$\beta_Z := \frac{K^2 + 1}{K^2 - 1} \quad \beta_Z = 3.514$$

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

$$\beta_F := 0.91 \quad \beta_V := 0.55 \quad f := 1$$

Угловая податливость фланцев:

Угловая податливость фланца при затяжке:

$$y_{\phi} := \frac{0.91 \cdot \beta_V}{E_{20} \cdot \lambda \cdot l_0 \cdot (S_0)^2} \quad y_{\phi} = 1.149 \times 10^{-10} \text{ мм/Н}$$

Угловая податливость фланца, нагруженного внешним изгибающим моментом:

$$y_{\phi H} := \left( \frac{\pi}{4} \right)^3 \cdot \frac{D_6}{E_{20} \cdot h^3 \cdot D_H} \quad y_{\phi H} = 4.106 \times 10^{-11} \text{ мм/Н}$$

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

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

Приведенный диаметр плоского фланца:  $D_{пр} := D$

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

$$b := 0.5(D_6 - D_{сп}) = 35 \text{ мм}$$

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

$$e := 0.5 \cdot (D_{сп} - D - S_0) \quad e = 17 \text{ мм}$$

Коэффициент жесткости фланцевого соединения для приварных встык и плоских фланцев:

$$\gamma := \frac{1}{y_{п} + y_6 \cdot \frac{E_{206}}{E_6} + 2 \cdot b^2 \cdot y_{\phi} \cdot \frac{E_{20}}{E}} \quad \gamma = 1.172 \times 10^6$$

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

$$\alpha := 1 - \frac{y_{п} - 2 \cdot e \cdot y_{\phi} \cdot b}{y_{п} + y_6 + 2 \cdot b^2 \cdot y_{\phi}} \quad \alpha = 0.581$$

Коэффициент жесткости фланцевого соединения, нагруженного внешним изгибающим моментом:

$$\alpha_M := \frac{y_6 + 2 \cdot y_{\text{фн}} \cdot b \cdot \left( b + e - \frac{e^2}{D_{\text{сп}}} \right)}{y_6 + y_{\text{п}} \cdot \left( \frac{D_6}{D_{\text{сп}}} \right)^2 + 2 \cdot y_{\text{фн}} \cdot b^2} \quad \alpha_M = 0.276$$

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

$$Q_t := \gamma \cdot [2\alpha_{\text{ф}} \cdot h \cdot (t_{\text{ф}} - 20) - 2\alpha_6 \cdot h \cdot (t_6 - 20)] \quad Q_t = 944.511 \quad \text{Н}$$

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

$$P_{61} := \max \left[ \begin{array}{l} \alpha \cdot (Q_d + F) + R_{\text{п}} + \frac{4 \cdot \alpha_M \cdot |M|}{D_{\text{сп}}} \\ \alpha \cdot (Q_d + F) + R_{\text{п}} + \frac{4 \cdot \alpha_M \cdot |M|}{D_{\text{сп}}} - Q_t \end{array} \right]$$

$$P_{61} = 1.722 \times 10^5 \quad \text{Н}$$

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

$$P_{62} := \max(P_{\text{обж}}, 0.4 \cdot A_6 \cdot \sigma_{206})$$

$$P_{\text{обж}} = 2.872 \times 10^4 \quad \text{Н} \quad P_{62} = 4.14 \times 10^5 \quad \text{Н}$$

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

$$P_{6\text{м}} := \max(P_{61}, P_{62}) \quad P_{6\text{м}} = 4.14 \times 10^5 \quad \text{Н}$$

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

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

$$P_{6p} := P_{6m} + (1 - \alpha) \cdot (Q_d + F) + Q_t + \frac{4 \cdot (1 - \alpha_M) \cdot |M|}{D_{сп}}$$

$$P_{6p} = 4.976 \times 10^5 \text{ Н}$$

**Проверка прочности болтов (шпилек) и прокладки.**

Расчетные напряжения в болтах (шпильках):

- при затяжке:

$$\sigma_{61} := \frac{P_{6m}}{A_6} \quad \sigma_{61} = 92 \quad \text{МПа}$$

- в рабочих условиях:

$$\sigma_{62} := \frac{P_{6p}}{A_6} \quad \sigma_{62} = 110.578 \text{ МПа}$$

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

$$Usl\_1 := \begin{cases} \text{"Условия прочности в при затяжке НЕ выполняются"} & \text{if } \sigma_{61} > \sigma_{206} \\ \text{"Условия прочности в рабочих условиях НЕ выполняются"} & \text{if } \sigma_{62} > \sigma_{д.6} \\ \text{"Условия прочности выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

**Usl\_1 = "Условия прочности выполняются"**

$$\sigma_{61} = 92 \text{ МПа} \quad \sigma_{206} = 230 \text{ МПа} \quad \sigma_{62} = 110.578 \text{ МПа} \quad \sigma_{д.6} = 225.5 \text{ МПа}$$

Удельное давление на прокладку:

$$q := \frac{\max(P_{6m}, P_{6p})}{\pi \cdot D_{сп} \cdot b_{п}} \quad q = 17.999 \text{ МПа}$$

Условие прочности прокладки (проверяется для мягких прокладок):

$$Usl\_2 := \begin{cases} \text{"Условие прочности прокладки НЕ выполняется"} & \text{if } q > q_d \\ \text{"Условие прочности прокладки выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

**Usl\_2 = "Условие прочности прокладки выполняется"**

$$q = 17.999 \text{ МПа} \quad q_d = 130 \text{ МПа}$$

### **Расчет фланцев на статическую прочность.**

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

$$M_M := C_F \cdot P_{6M} \cdot b \quad M_M = 1.449 \times 10^7 \text{ Н*мм}$$

Расчетный изгибающий момент, действующий на фланец в рабочих условиях:

$$M_p := C_F \cdot \max [P_{6p} \cdot b + (Q_d + Q_{FM}) \cdot e, |Q_d + Q_{FM}| \cdot e]$$

$$M_p = 2.077 \times 10^7 \text{ Н*мм}$$

Расчетные напряжения во фланце при затяжке:

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

$$\sigma_{0M} := \frac{M_M}{\lambda \cdot (S_0 - c_o)^2 \cdot D_{пр}} \quad \sigma_{0M} = 154.643 \text{ МПа}$$

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

- радиальное напряжение:

$$\sigma_{RM} := \frac{1.33 \cdot \beta_F \cdot h + l_0}{\lambda \cdot h^2 \cdot l_0 \cdot D} \cdot M_M \quad \sigma_{RM} = 31.784 \text{ МПа}$$

- окружное напряжение:

$$\sigma_{TM} := \frac{\beta_Y \cdot M_M}{h^2 \cdot D} - \beta_Z \cdot \sigma_{RM} \quad \sigma_{TM} = 25.903 \text{ МПа}$$

Расчетные напряжения во фланце в рабочих условиях.

- меридиональные изгибные напряжения для приварных встык фланцев с прямой втулкой и плоских фланцев:

$$\sigma_{0p} := \frac{M_p}{\lambda \cdot (S_0 - c_o)^2 \cdot D_{пр}} \quad \sigma_{0p} = 221.691 \text{ МПа}$$

- максимальные меридиональные мембранные напряжения в обечайке плоского фланца:

$$\sigma_{0mp} := \max \left[ \frac{Q_d + F + \frac{4|M|}{D_{сп}}}{\pi \cdot (D + S_0) \cdot (S_0 - c_o)}, \frac{Q_d + F - \frac{4|M|}{D_{сп}}}{\pi \cdot (D + S_0) \cdot (S_0 - c_o)} \right]$$

$$\sigma_{0mp} = 8.699 \quad \text{МПа}$$

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

- радиальное напряжение:

$$\sigma_{Rp} := \frac{1.33 \cdot \beta_F \cdot h + l_0}{\lambda \cdot h^2 \cdot l_0 \cdot D} \cdot M_p \quad \sigma_{Rp} = 45.564 \text{ МПа}$$

- окружное напряжение:

$$\sigma_{Tp} := \frac{\beta_Y \cdot M_p}{h^2 \cdot D} - \beta_Z \cdot \sigma_{Rp} \quad \sigma_{Tp} = 37.133 \text{ МПа}$$

Проверка условий статической прочности фланцев:

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

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

PR\_1 := "Условия статической прочности при затяжке и в рабочих условиях выполняются"

PR\_3 := "Условия статической прочности НЕ выполняются"

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

$$K_T := 1.3$$

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

Usl\_3 = "Условия статической прочности при затяжке и в рабочих условиях выполняются"

$$\sigma_{3\max} = 203.396 \text{ МПа} \quad K_T \cdot \sigma_{20} = 254.8 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{P\max} = 279.392 \text{ МПа} \quad K_T \cdot \sigma_{д.ф} = 346.125 \text{ МПа}$$

***Проверка углов поворота фланцев.***

Угол поворота приварного встык фланца:

$$\Theta := M_p \cdot y_{\phi} \cdot \frac{E_{20}}{E} \quad \Theta = 2.783 \times 10^{-3}$$

Допустимый угол поворота приварного встык фланца:  $\Theta_{д} := 0.013$

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

$$Usl\_P = \text{"Условие поворота фланца выполняется"}$$

Результатами данного расчета является выполнение условий прочности болтов, условий статической прочности фланцев при затяжке и в рабочих условиях и условия поворота фланца.

### 3.2.5. Расчёт обечайки нагруженной опорными нагрузками от воздействия седловых опор

Целью данного механического расчета является расчет обечайки и днищ от воздействия опорных нагрузок, а также подбор опоры аппарата и проверка его устойчивости.

Расчет осуществляем по ГОСТ Р 52857.5-2007 [10]

Сосуды работающие под внутренним избыточным давлением.

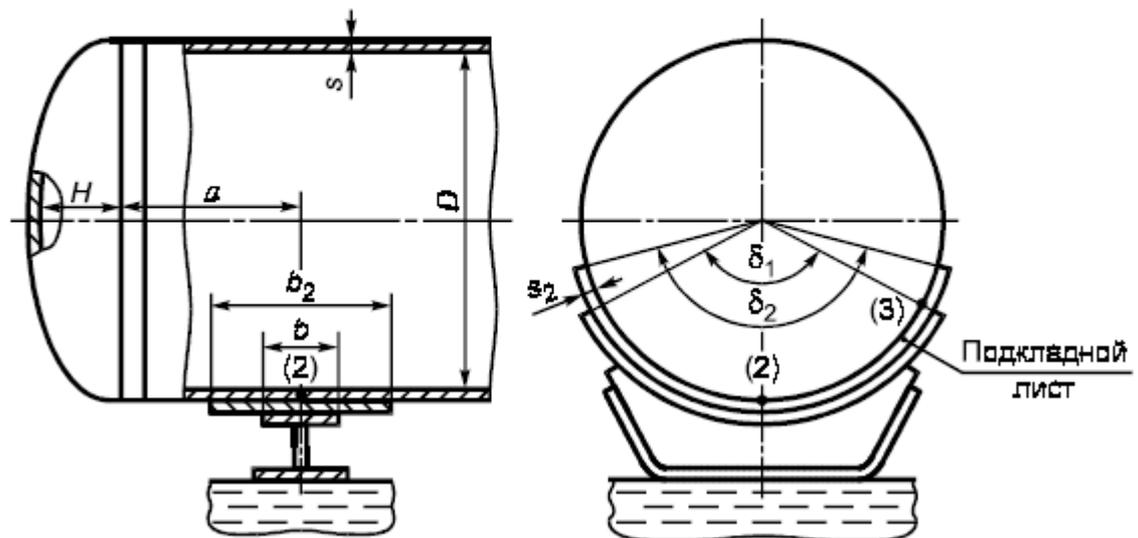


Рис. 3.2.5.1. Схема обечайки и седловой опоры

#### Исходные данные:

Аппарат изготовлен из стали 09Г2С.

$\rho := 7850$  -плотность материала, кг/м<sup>3</sup>.

$\rho_{\text{в}} := 1000$  -плотность воды, кг/м<sup>3</sup>.

$H := 910$  -высота выпуклой части днища по внутренней поверхности без учета цилиндрической отбортовки, мм;

$V := 200$  -объем емкости аппарата, м<sup>3</sup>.

$g := 9.8$  -ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>.

$L := 20850$  -длина цилиндрической части сосуда, включая длину цилиндрической отбортовки днища, мм;

$D := 3400$  -внутренний диаметр цилиндрической обечайки или выпуклого днища, мм;

- $p_T := 0.631$  -расчетное значение внутреннего избыточного давления, МПа.
- $\phi := 1$  -коэффициент прочности сварных швов обечайки, расположенных в области опорного узла;
- $E := 1.91 \cdot 10^5$  -модуль продольной упругости при расчетной температуре, МПа.
- $b := 450$  -ширина седловой опоры, мм;
- $s_2 := 18$  -исполнительная толщина подкладного листа, мм;
- $b_2 := b + 4 \cdot s_2 = 522$  -ширина подкладного листа, мм;
- $\sigma_t := 177$  -допускаемое напряжение при расчетной температуре, МПа;
- $\sigma_T := 265.5$  -предел текучести при расчетной температуре, МПа;
- $\sigma_{20} := 196$  -допускаемое напряжение при температуре 20 °С, МПа;
- $a := 5250$  -длина выступающей цилиндрической части сосуда, включая отбортовку днища, мм;
- $e := a + H$  -длина свободновыступающей части эквивалентного сосуда, мм;
- $t_{rab} := 100$  -рабочая температура в аппарате, °С;
- $c := 2$  -сумма прибавок к расчетной толщине стенки, мм;
- $\delta_1 := 120 \cdot \text{deg}$  -угол охвата седловой опоры, °;
- $\delta_2 := 140 \cdot \text{deg}$  -угол охвата сосуда подкладным листом, °.

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

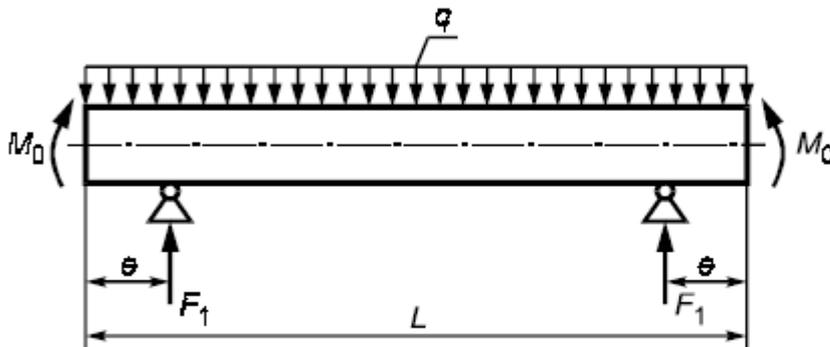


Рис. 3.2.5.2. Расчетная схема определения усилий

**Выберите условие нагружения:**

z :=  Внутреннее давление  
 Наружнее давление

**Выберите условие работы аппарата:**

o :=  Рабочие условия  
 Условия испытаний

**Расчётные данные:**

**Расчётная температура**

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

$$t = 20 \text{ } ^\circ\text{C}$$

**Допускаемое напряжение при расчетной температуре:**

Принимаем по ГОСТ Р 52857.1-2007 [3] при расчётной температуре  $t=20^\circ\text{C}$

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

$$\sigma_d = 241 \text{ МПа}$$

**Пробное давление:**

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

$$p = 0.873 \text{ МПа}$$

**Исполнительная толщина стенки:**

$$s := 18 \text{ мм}$$

**Допускаемое наружное давление**

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

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

$$P_d = 0.055 \text{ МПа}$$

**Вес аппарата:**

$$A_k := (13.17 \cdot 10^6) \text{ - площадь эллиптических крышек, мм}^2$$

$$A_1 := \pi \cdot D \cdot L \text{ - площадь корпуса.}$$

$$G1 := \begin{cases} A_k \leftarrow (10.32 \cdot 10^6) \\ A1 \leftarrow \pi \cdot D \cdot L \\ m_k \leftarrow \rho \cdot (2 \cdot A_k \cdot s + A1 \cdot s) \cdot 10^{-9} \\ G1 \leftarrow 9.8 \cdot m_k \end{cases}$$

$$G2 := 1.3 \cdot G1 = 4.381 \times 10^5 \text{ Н}$$

Вес воды:

$$G_B := \rho_B \cdot (V \cdot g) = 1.96 \times 10^6 \text{ Н}$$

Полный вес аппарата:

$$G := G2 + G_B = 2.398 \times 10^6 \text{ Н}$$

Выбираем 2 опоры аппарата исходя из веса приходящегося на одну опору [11].

Таблица 3.2.5- Основные размеры опоры

| И<br>сп<br>. | G*1<br>0 <sup>2</sup> ,<br>МН | Dв,<br>мм | R,<br>м<br>м | L,<br>м<br>м | L <sub>1</sub> ,<br>м<br>м | l,м<br>м | l <sub>1</sub> ,<br>мм | h,м<br>м | h <sub>1</sub> ,<br>мм | A,<br>мм | A <sub>1</sub> ,<br>мм | S <sub>1</sub> ,<br>мм | S <sub>2</sub> ,<br>мм | Мас<br>са ,<br>кг |
|--------------|-------------------------------|-----------|--------------|--------------|----------------------------|----------|------------------------|----------|------------------------|----------|------------------------|------------------------|------------------------|-------------------|
| II           | 140                           | 340       | 17           | 29           | 30                         | 28       | 14                     | 97       | 34                     | 23       | 200                    | 25                     | 25                     | 570               |
|              |                               | 0         | 20           | 90           | 10                         | 95       | 50                     | 0        | 0                      | 90       | 0                      |                        |                        |                   |

**Проверка применимости формул:**

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

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

**Нагрузки на корпус аппарата:**

$$q := \frac{G}{L + \frac{4 \cdot H}{3}} \quad q = 108.69 \frac{\text{H}}{\text{мм}}$$

$$M_0 := q \cdot \frac{D^2}{16} \quad M_0 = 7.853 \times 10^7 \text{ Н} \cdot \text{мм}$$

**Опорное усилие:**

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

$$F_1 = 1.199 \times 10^6 \text{ Н}$$

**Момент над опорой:**

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

$$M_1 = 1.984 \times 10^9 \text{ Н} \cdot \text{мм}$$

**Максимальный момент между опорами:**

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

$$M_{12} = -3.301 \times 10^8 \text{ Н} \cdot \text{мм}$$

**Поперечное усилие в сечении оболочки над опорой:**

$$Q_1 := \frac{L - 2 \cdot a}{L + \frac{4}{3} \cdot H} \cdot F_1 \quad Q_1 = 5.625 \times 10^5 \text{ Н}$$

*Допускаемый изгибающий момент:*

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

$$M_d = 2.984 \times 10^{10} \text{ Н} \cdot \text{мм}$$

**Проверка несущей способности обечайки в сечении между опорами.**

*Проверка условия :*

$$\text{Проверка1} := \begin{cases} \text{"Несущую способность обечайки в сечении между опорами следует проверить."} & \text{if } M_{12} > M_1 \\ \text{"Проверка не нужна"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{Проверка1} = \text{"Проверка не нужна"}$$

**Проверка несущей способности обечайки, неукреплённой кольцами жесткости в области опорного узла**

*Параметр, определяемый расстоянием до днища:*

$$\gamma := 2.83 \cdot \frac{a}{D} \cdot \sqrt{\frac{(s - c)}{D}} \quad \gamma = 0.3$$

*Параметр, определяемый шириной пояса опоры:*

$$\beta_1 := 0.91 \cdot \frac{b}{\sqrt{D \cdot (s - c)}} \quad \beta_1 = 1.951$$

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

$$\sigma_{mx} := \frac{4 \cdot M_1}{\pi \cdot D^2 \cdot (s - c)} \quad \sigma_{mx} = 13.655 \text{ МПа}$$

**Выберите вид обечайки:**

u :=  
Цилиндрическая обечайка без подкладных листов  
Цилиндрическая обечайка с подкладными листами

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

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

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

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

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

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

**Предельные напряжения изгиба  $\sigma_{i2}$ ,  $\sigma_{i3}$ :**

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

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

$$K_2 = 1.05$$

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

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

$K_{12}$  -коэффициент, учитывающий влияние угла охвата:

$$K_{12} := \frac{1.15 - 0.1432 \cdot \delta}{\sin(0.5 \cdot \delta)} \quad K_{12} = 0.851$$

$K_{14}$  -коэффициент, учитывающий влияние угла охвата:

$$K_{14} := \frac{1.45 - 0.43 \cdot \delta}{\sin(0.5 \cdot \delta)} \quad K_{14} = 0.425$$

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

$$K_{16} := 1 - \frac{0.65}{1 + (6 \cdot \gamma)^2} \cdot \sqrt{\frac{\pi}{3 \cdot \delta}} \quad K_{16} = 0.9$$

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

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

$K_{13}$  - коэффициент, учитывающий влияние угла охвата:

$$K_{13} := \frac{\max\left(1.7 - \frac{2.1 \cdot \delta}{\pi}, 0\right)}{\sin(0.5 \cdot \delta)} \quad K_{13} = 0.071$$

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

$$K_{15} := \min\left(1, \frac{0.8 \cdot \sqrt{\gamma} + 6 \cdot \gamma}{\delta}\right) \quad K_{15} = 0.915$$

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

$$K_{11} := \frac{1 - e^{-\beta_1} \cdot \cos(\beta_1)}{\beta_1} \quad K_{11} = 0.513$$

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

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

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

$$v_{213} := 0$$

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

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

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

$$K_{112} = 1.463$$

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

$$K_{122} = 0.478$$

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

$$K_{113} = 1.498$$

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

$$K_{123} = 0.591$$

$$K_{1,2} := \min(K_{112}, K_{122}) \quad K_{1,2} = 0.478$$

$$K_{1,3} := \min(K_{113}, K_{123}) \quad K_{1,3} = 0.591$$

$$\sigma_{i2} := K_{1.2} \cdot K_2 \cdot \sigma_d \quad \sigma_{i2} = 120.904 \quad \text{МПа}$$

$$\sigma_{i3} := K_{1.3} \cdot K_2 \cdot \sigma_d \quad \sigma_{i3} = 149.667 \quad \text{МПа}$$

$$F_{d2} := \frac{0.7 \cdot \sigma_{i2} \cdot \sqrt{D \cdot (s - c)} \cdot (s - c)}{K_{10} \cdot K_{12}} \quad F_{d2} = 1.484 \times 10^6 \quad \text{Н}$$

$$F_{d3} := \frac{0.9 \cdot \sigma_{i3} \cdot \sqrt{D \cdot (s - c)} \cdot (s - c)}{K_{14} \cdot K_{16} \cdot K_{17}} \quad F_{d3} = 3.004 \times 10^6 \quad \text{Н}$$

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

**Проверка условия прочности:**

$$\text{Проверка3} := \begin{cases} \text{"Условие прочности выполняется."} & \text{if } F_1 \leq \min(F_{d2}, F_{d3}) \\ \text{"Условие прочности НЕ выполняется."} & \text{otherwise} \\ \text{"Проверка не выполняется"} & \text{if } z = 2 \end{cases}$$

Проверка3 = "Условие прочности выполняется."

**Проверка условия устойчивости:**

$$\frac{P_v}{P_d} + \frac{M_1}{M_d} + \frac{F_e}{F_d} + \left( \frac{Q}{Q_d} \right)^2 \leq 1$$

- где  $F_e$  - эффективное осевое усилие от местных мембранных напряжений, действующих в области опоры.

$$F_e := F_1 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot \sqrt{\frac{D}{(s - c)}} \cdot K_{13} \cdot K_{15} \quad F_e = 8.915 \times 10^5 \quad \text{Н}$$

**Допускаемое поперечное усилие:**

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

$$Q_d = 7.748 \times 10^6 \quad \text{Н}$$

*Допускаемое усилие из условия устойчивости:*

$$F_d := \pi \cdot [D + (s - c)] \cdot (s - c) \cdot \sigma_d \quad F_d = 4.138 \times 10^7 \quad \text{Н}$$

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

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

Результатами данного расчета является выбор опоры аппарата, а также выполнение условий несущей способности обечайки, неукреплённой кольцами жесткости в области опорного узла, и проверка условия устойчивости аппарата.

#### 4.Разделение водонефтяных эмульсий

Каждый год в России добывают и перерабатывают миллионы тонн нефти. Важным этапом в этой технологической цепочке является качественная подготовка нефти.

Из нефтяных скважин извлекается сложная смесь, состоящая из нефти, пластовой воды, содержащей минеральные соли, попутного нефтяного газа и механических примесей (песка, бурового раствора и т.п.). При этом с каждым годом обводненность нефти становится все выше. В таком виде транспортировка нефти по магистральным трубопроводам экономически не целесообразна, поэтому после скважин нефть по трубопроводу направляется на установку подготовки нефти (УПН).

Подготовка нефти непосредственно на промысле занимает важное место в цепочке связанной с добычей, сбором и транспортированием товарной нефти на дальнейшую переработку. Нефть, поступающая с промысла на УПН, является эмульсией, которая, как правило, никогда не бывает монодисперсной, так как содержат капли воды разных размеров.

Качество подготовки нефти влияет на эффективность и надежность работы магистрального трубопроводного транспорта, центробежных насосов, стоимость транспортировки нефти. Повышенное содержание воды, хлористых солей и механических примесей в нефти, поступающей на переработку, ухудшает качество получаемой из нее продукции, служит причиной для ускоренной коррозии и закупорки теплообменных и нефтеперегонных аппаратов. Возникают проблемы с утилизацией соленых стоков на нефтеперерабатывающих заводах.

Для предотвращения образования, а также для разрушения уже образовавшихся нефтяных эмульсий широко применяются деэмульгаторы. Деэмульгаторы – поверхностно-активные вещества (ПАВ), которые в отличие от природных эмульгаторов способствуют значительному снижению стойкости нефтяных эмульсий.

Деэмульгаторы для разрушения нефтяных эмульсий должны обладать способностью проникновения на границу раздела нефть–вода, вызывать флокуляцию и коалесценцию капель воды и хорошо смачивать поверхность механических примесей. В процессе флокуляции поверхностная пленка глобул воды становится достаточно ослабленной, происходит ее разрушение и слияние глобул воды. Процесс слияния капелек воды называется коалесценцией. Хорошие деэмульгаторы должны обеспечивать не только сближение диспергированных капелек воды в эмульсии, но также и разрушать окружающие их пленки и способствовать коалесценции. Деэмульгаторы обычно подразделяются на две группы: ионогенные (образующие ионы в водных растворах) и неионогенные (не образующие ионы в водных растворах).

Ионогенные, в свою очередь, могут быть подразделены на анионактивные и катионактивные в зависимости от того, какие поверхностно-активные группы они содержат анионы или катионы.

На месторождениях и нефтеперерабатывающих заводах из ионогенных деэмульгаторов для обезвоживания и обессоливания нефтей в течение длительного времени применялся нейтрализованный черный контакт (НЧК). Однако, он имеет ряд недостатков: низкое содержание поверхностно-активного вещества (в лучших сортах около 40–60% солей сульфокислот), что приводит к дорогостоящим перевозкам балласта; высокий удельный расход (0,5–3 кг/т, иногда и более); при взаимодействии НЧК с пластовой водой могут образоваться твердые осадки (гипс, гидрат окиси железа и др.), очистка от которых аппаратов и трубопроводов связана со значительными затратами. Ионогенные деэмульгаторы способствуют также образованию эмульсий типа нефть в воде, что приводит к значительному содержанию нефти в дренажной воде. В связи с этим в настоящее время малоэффективные деэмульгаторы: НЧК (нейтрализованный черный контакт) и НКГ (нейтрализованный кислый

гудрон), которые в настоящее время для деэмульсации нефти не применяются.

Катионактивные деэмульгаторы не нашли достаточного применения из-за их низкой активности.

Наибольшее распространение в настоящее время получили неионогенные деэмульгаторы, т. е. такие, которые в водных растворах не диссоциируют на ионы. Обычно деэмульгаторы этого типа получают присоединением окиси этилена или окиси пропилена к органическим веществам с подвижным атомом водорода. Исходным сырьем для такого синтеза могут служить органические кислоты, спирты, фенолы и др., а также окись этилена и окись пропилена.

Изменяя число присоединяемых молекул окиси этилена или пропилена, т. е. длину полиоксиэтиленовой или полиоксипропиленовой цепи, можно регулировать деэмульгирующую способность неионогенных деэмульгаторов. При удлинении оксиэтиленовой или оксипропиленовой цепи растворимость поверхностно активного вещества в воде повышается за счет увеличения гидрофильной (водорастворимой) части молекулы.

Наиболее значимой в настоящее время является проблема подбора деэмульгаторов таким образом, чтобы выбор отвечал не только индивидуальным особенностям конкретного вида нефти, так как она будет отличаться в зависимости от месторождения, но и был выгоден с экономической точки зрения. Также деэмульгатор не должен оказывать негативное воздействие на нефть, снижающее качественные характеристики подготовки нефти. Кроме того значительное влияние может оказать установка подготовки нефти, поскольку особенности каждой конкретной установки различны.

Выбор наиболее эффективного деэмульгатора и оценка его пригодности при промысловой подготовке нефти производятся на основании лабораторных и опытно-промышленных исследований.

Дезэмульгатор должен быть однородной жидкостью без взвешенных и оседающих частиц. Температура застывания должна соответствовать климатическим условиям нефтяного региона, характеризуемым абсолютными минимальными температурами воздуха.

Для удовлетворительной работы насосов типа НД (дозировочных) в условиях их эксплуатации вязкость дозируемого реагента должна быть не выше указанной в паспортных характеристиках насосов.

Дезэмульгатор не должен вызывать коррозию труб и оборудования.

При подготовке продуктовой нефти используются высокоэффективные отстойные аппараты, которые совмещают в себе процессы сепарации нефтяного газа и обезвоживания нефти.

В качестве метода разрушения нефтяных эмульсий наибольшее распространение получила термохимическая подготовка нефти.

Термохимическая установка состоит из сепараторов-деэмульсаторов, отстойников-электродегидраторов и другого оборудования. Установлено, что существующие методы дезэмульсации нефти без применения тепла и поверхностно-активных веществ малоэффективны. Поэтому в настоящее время около 80 % всей добываемой обводненной нефти обрабатывается на термохимических установках, к преимуществам которых относятся: предельная простота установки (теплообменник, отстойник и насос), сравнительно низкая чувствительность режима работы установки к значительному изменению содержания воды в нефти, возможность замены дезэмульгаторов по мере изменения характеристики эмульсии без замены оборудования и аппаратуры.

Существуют термохимические установки по дезэмульсации нефти, работающие при атмосферном давлении и установки, работающие под избыточным давлением.

Объектом исследования является нефть Катильгинского месторождения, которая в связи с переходом месторождения на позднюю стадию разработки имеет обводненность до 70–80 %.

Актуальность данного исследования выражается в качественной подготовке и глубоком обезвоживании товарной нефти с целью уменьшения экономических затрат и облегчения последующей обработки.

Целью работы является оценка эффективности действия деэмульгатора для разделения водонефтяной эмульсии.

В качестве деэмульгатора использовался реагент Unidem ES-304 производства ООО «ОПУ-30» г. Альметьевск, представляющий собой однородную бесцветную жидкость.

В ходе работы проводилось приготовление 1 % раствора деэмульгатора в октане; перемешивание отстоявшейся водонефтяной эмульсии в гомогенизаторе типа MPW 324 в течение 15 минут при скорости 3000 об/мин; дозирование реагента в пробы в определенной концентрации; наблюдение за ходом разделения эмульсий с фиксированием промежуточных результатов. Отстаивание эмульсии проводилось при комнатной температуре в цилиндрах объемом 10 мл. При этом через равные промежутки времени измеряли количество отделившейся воды в мерных цилиндрах, толщину эмульсионного слоя, наличие или отсутствие промежуточных слоев (так называемый «слоеный пирог»), чтобы отследить динамику расслоения эмульсии.

Полученные результаты представлены в табл.4.1.

Таблица 4.1 – Время отстаивания водонефтяной эмульсии  
от концентрации деэмульгатора

| Время с<br>момента<br>отстаивания,<br>мин | Уровень воды в цилиндре, мл |     |     |     |      |      |     |
|---|-----------------------------|-----|-----|-----|------|------|-----|
|   | Количество капель           |     |     |     |      |      |     |
|   | 0                           | 1   | 2   | 3   | 4    | 5    | 10  |
| 1   | 0,3                         | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,3  | 0,3  | 3,4 |
| 2   | 0,4                         | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,75 | 0,75 | 3,9 |
| 3   | 0,4                         | 1   | 1,9 | 1,9 | 1,2  | 2    | 3,9 |
| 4   | 1                           | 3,5 | 2,2 | 2,3 | 2    | 2,9  | 3,9 |
| 5   | 2                           | 3,5 | 2,6 | 2,6 | 2,5  | 3,1  | 3,9 |
| 6   | 2                           | 3,5 | 2,6 | 2,6 | 2,5  | 3,1  | 3,9 |
| 7   | 2                           | 3,5 | 2,6 | 2,6 | 2,5  | 3,1  | 3,9 |
| 8   | 2                           | 3,5 | 2,6 | 2,6 | 2,5  | 3,1  | 3,9 |
| 9   | 2                           | 3,5 | 2,6 | 2,6 | 2,5  | 3,1  | 3,9 |
| 10  | 3,2                         | 3,6 | 2,6 | 2,7 | 2,5  | 3,6  | 3,9 |

На основании табличных данных построен график зависимости объема отделившейся воды от времени отстаивания эмульсии при различной концентрации реагента Unidem ES-304 (рис. 4.1.).

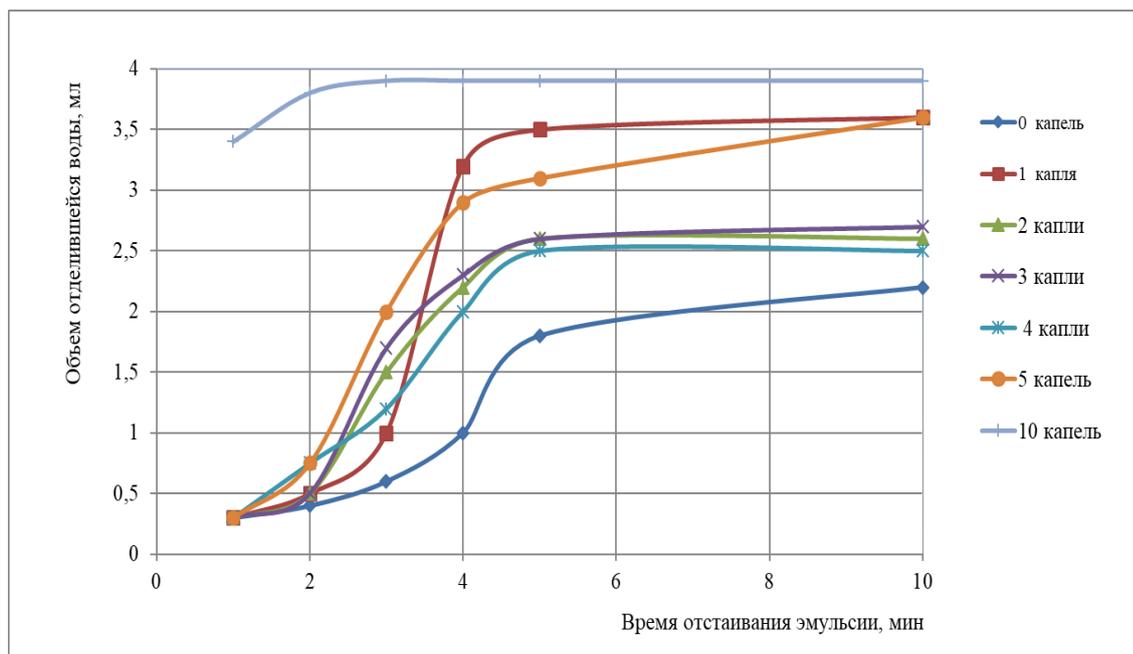


Рисунок 4.1. Зависимость объема отделившейся воды от времени отстаивания эмульсии

Анализ полученных кривых показал, что при добавлении 1 капли деэмульгатора наблюдается эффективное расслаивание эмульсии. Так, через 4 мин объем отделившейся воды составил 3,2 мл, в то время в холостой пробе объем воды составил всего 1 мл.

При дальнейшем увеличении концентрации Unidem ES-304 в течение первых 3 мин наблюдается более быстрое расслоение эмульсии, однако в дальнейшем скорость разделения падает, и время отстаивания эмульсии увеличивается. Это объясняется тем, что на каплях воды образуются бимолекулярные адсорбционные слои из молекул деэмульгатора, которые практически не обладают заметными структурно-механическими свойствами. В то время как мономолекулярный слой реагента способствует быстрой коалесценции капель воды при их столкновениях друг с другом.

При добавлении в исходную эмульсию 10 капель деэмульгатора в течение 2 мин происходит полное отделение воды от нефти в объеме 3,9 мл, но при этом возрастает расход реагента, стоимость которого достаточно высока, учитывая объемы перерабатываемой нефти.

В результате проделанной исследовательской работы можно сделать следующие выводы:

1. полученные результаты показали высокую эффективность применения Unidem ES-304 без образования промежуточных слоев на границе раздела фаз;
2. при добавлении деэмульгатора в количестве 19 г/т нефти через 5 мин наблюдается полное расслоение водной и нефтяной фазы по сравнению с холостой пробой, в которой граница раздела фаз появляется через 30 мин.

## **5.Разработка методики расчета защиты нефтегазового сепаратора от превышения давления**

Развитие химической и нефтехимической промышленности требует создания высокоэффективных, надежных и безопасных в эксплуатации технологических процессов и аппаратов. Применение веществ, обладающих взрывоопасными и вредными свойствами, ведение технологических процессов под большим избыточным давлением и при высокой температуре обуславливает необходимость детальной проработки вопросов выбора средств защиты обслуживающего персонала.

В химической, нефтехимической промышленности, а также на объектах подготовки и переработки нефти и газа используется оборудование, работающее под избыточным давлением. В соответствии с [12] сосуды работающие под давлением должны быть оснащены предохранительными устройствами от превышения давления выше разрешенного.

При эксплуатации технологического оборудования не редко возникают ситуации когда давление внутри сосуда превышает разрешенного значения. Чтобы избежать разрыв сосуда и увеличить срок эксплуатации необходимо устанавливать предохранительные устройства, работающие по принципу сброса из аппарата излишнего количества среды .

### **5.1.Обоснование актуальности выбранной темы**

Актуальность данной темы выражена необходимостью обеспечения безопасности при эксплуатации оборудования работающих под давлением. Аварийное повышение давления может привести к разрушению оборудования. Поэтому во всех случаях, когда в аппарате может быть превышено предельно допустимое давление, аппарат должен быть надежно защищен от разрушения с помощью различных предохранительных устройств (ПУ), работающих по принципу сброса из аппарата излишнего количества среды.

Источниками аварийного роста давления в аппаратах могут являться внезапные, не предусмотренные рабочим процессом случаи:

- а) приток в аппарат газа, пара или жидкости при закрытом выходе из него;
- б) обогрев или нарушение охлаждения аппарата, в результате чего происходит нагрев газа или пара, испарение жидкости в нем или интенсификация химической реакции;
- в) взрыв среды в аппарате.

Причинами аварийного повышения давления могут являться:

- а) ошибки обслуживающего персонала;
- б) отказ запорно-регулирующей арматуры;
- в) нарушение функционирования системы автоматического управления;
- г) внезапное разрушение внутренних устройств аппарата: труб, змеевиков, рубашек и др.;
- д) замерзание охлаждающей воды;
- е) выход из-под контроля химических реакций;
- ж) интенсивный нагрев поверхности аппарата от внешнего источника, например в результате пожара, солнечной радиации и т. п. [13]

## 5.2. Характеристика современного состояния проблемы

В настоящее время в мире все больше внимания уделяется вопросам обеспечения на высоком уровне защиты окружающей среды, безопасности жизнедеятельности и охране труда.

Одним из видов аварий на промышленных объектах являются взрывы технологического оборудования в результате превышения давления внутренней среды.

Не редки случаи, когда давление превышает допустимое значение, что может привести как к разгерметизации оборудования, так и к его полному разрушению.

Одним из возможных путей снижения подобного риска на промышленных объектах является применение предохранительных устройств. На их основе разрабатываются мероприятия по предупреждению возникновения аварий и предотвращению опасных последствий.

В Американском нефтяном институте (American Petroleum Institute – API), разработана система технического регулирования в области систем аварийного сброса, которая является международным стандартом и распространяется на устройства сброса давления, применяемые в системах нефтепереработки, химических производств и в других подобных системах, рассчитанных на максимально допустимое рабочее давление [14].

Крупные российские потребители нефтегазового оборудования все чаще требуют от своих поставщиков, чтобы поставляемое оборудование соответствовало нормам стандартов API. Все чаще фирмы, не имеющие сертификата API, не допускаются к международным или даже российским тендерам. Эти требования налагаются и на предохранительные устройства.

В России существует нормативно – технический документ ГОСТ 12.2.085 – 2002 [14], который также используют при проектировании предохранительных устройств. Но поскольку он имеет ряд недостатков многие фирмы отдают предпочтение международным стандартам.

### 5.3. Расчет предохранительного устройства нефтегазового сепаратора

Расчет произведен в соответствии с требованиями ГОСТ 12.2.085 – 2002 [17]. Для расчета использовано программное обеспечение Wolfram Mathematica.

#### Исходные данные для расчета

Рабочая среда – попутный нефтяной газ;

Рабочее давление – 0,4 МПа;

Температура в аппарате – 100 °С;

Количество газа, подаваемого в аппарат – 71360 кг/ч.

Компонентный состав газа принимаем согласно [1].

Исходные данные :

Рабочее давление среды, МПа :

$$P_p=0.4$$

0.4

Давление сброса , МПа :

$$P_2=0$$

0

Молярная масса нефтяного газа , кг/кмоль :

$$M=30.74$$

30.74

Температура в системе , К :

$$T=273+100$$

373

Количество вещества , подаваемого в аппарат, кг/ч :

$$m_k=71360$$

71360

Коэффициент сжимаемости попутного нефтяного газа :

$$z=1$$

1

Объемные доли компонентов газовой смеси, % :

$$y_1=75.74(*\text{Метан}^*);$$

$$y_2=4.94(*\text{Этан}^*);$$

4.94

$$y_3=7(*\text{Пропан}^*);$$

7

$$y_4=1.65(*\text{И-бутан}^*);$$

1.65

$y_5=2.99$ (\*Н-бутан\*)

2.99

$y_6=0.84$ (\*И-пентан\*)

0.84

$y_7=0.93$ (\*Пентан\*)

0.93

$y_8=1.67$ (\*Гексан\*)

1.67

$y_9=2.15$ (\*Диоксид углерода\*)

2.15

$y_{10}=1.46$ (\*Азот\*)

1.46

**Критические температуры компонентов, К :**

$T_{кр1}=190.5$ (\*Метан\*)

190.5

$T_{кр2}=305.3$ (\*Этан\*)

305.3

$T_{кр3}=369.8$ (\*Пропан\*)

369.8

$T_{кр4}=407.9$ (\*И-бутан\*)

407.9

$T_{кр5}=425$ (\*Н-бутан\*)

425

$T_{кр6}=469.78$ (\*И-пентан\*)

469.78

$T_{кр7}=470.4$ (\*Пентан\*)

470.4

$T_{кр8}=508$ (\*Гексан\*)

508

$T_{кр9}=304.4$ (\*Диоксид углерода\*)

304.4

$T_{кр10}=126$ (\*Азот\*)

126

**Критические давления компонентов, МПа :**

$P_{кр1}=6.64$ (\*Метан\*)

6.64

$P_{кр2}=4.86$ (\*Этан\*)

4.86

$P_{кр3}=4.27$ (\*Пропан\*)

4.27

$P_{кр4}=3.79$ (\*И-бутан\*)

3.79

$P_{кр5}=3.89$ (\*Н-бутан\*)

3.89

$P_{кр6}=3.37$ (\*И-пентан\*)

3.37

$P_{кр7}=3.33$ (\*Пентан\*)

3.33

$P_{кр8}=2.99$ (\*Гексан\*)

2.99

$P_{кр9}=7.53$ (\*Диоксид углерода\*)

7.53

$P_{кр10}=3.35$ (\*Азот\*)

3.35

Решение :

Расчет выполнен в соответствии с ГОСТ 12.2 .085 - 2002 [17].

Максимально допустимое давление в аппарате при срабатывании ПУ, согласно правилам Росгортехнадзора, составляет :

$P1=1.15P_p$

0.46

Показатель изоэнтропы при нормальных условиях для многокомпонентных газов :

$K_n=1.3$

1.3

Определяем критические характеристики нефтяного газа по правилу аддитивности .

Рассчитаем критическую температуру нефтяного газа, К :

$T_{кр}=y_1 T_{кр1}+y_2 T_{кр2}+y_3 T_{кр3}+y_4 T_{кр4}+y_5 T_{кр5}+y_6 T_{кр6}+y_7 T_{кр7}+y_8 T_{кр8}+y_9 T_{кр9}+y_{10} T_{кр10}$

22987.9

Рассчитаем критическое давление нефтяного газа, МПа :

$P_{кр}=y_1 P_{кр1}+y_2 P_{кр2}+y_3 P_{кр3}+y_4 P_{кр4}+y_5 P_{кр5}+y_6 P_{кр6}+y_7 P_{кр7}+y_8 P_{кр8}+y_9 P_{кр9}+y_{10} P_{кр10}$

606.698

Температура нефтяного попутного газа при давлении  $P1$  :

$T=273+100$

$T1=T((P1+0.1)/(P_p+0.1))^((K_n-1)/K_n)$

373

96.4062

Определяем приведенные параметры :

Приведенное давление, МПа :

$\pi1=((P1+1)/P_{кр})$

0.00240647

Приведенная температура, К :

$\tau1=T1/T_{кр}$

0.00419378

$\pi1/\tau1$

0.573819

if[ $\pi1/\tau1 < 0.5$ ,  $k_1=K_n$ ,  $k_2=K_n$ ,  $k=K_n$ ];  $k$

1.3

If[ $\pi1/\tau1 > 0.5$ , Print["Газ реальный"],  $\pi1/\tau1 \leq 0.5$ , Print["Газ идеальный"]]

Газ реальный

Определяем коэффициенты отклонения реального газа при изотропном расширении по [13, рис 7.21] .

$$\mu = 1$$

Так как  $p_1/p_1 > 0.5$ , то, следовательно,  $k_2 = k_n = 1.3$ .

$$z = 1$$

$$k_1 = k_n \cdot z / \mu$$

$$k_n$$

Определяем критическое отношение давлений :

$$(\beta^*)_a = \left( \frac{2}{k+1} \right)^{\frac{k}{k-1}}$$

$$0.924044$$

При истечении среды из отверстия с острыми кромками, каковыми являются ПУ, максимальный расход устанавливается при меньшем отношении давлений.

Для предохранительных клапанов установлено, что :

$$(\beta^*)_{кл} = 0.57 (\beta^*)_a$$

$$0.526705$$

Критическое истечение с постоянным максимальным расходом происходит при отношении давлений за и перед ПУ :

$$\beta^* = (P_2 + 0.1) / (P_1 + 0.1)$$

$$0.178571$$

Определяем коэффициент докритического расхода ( $B_2$ )<sub>a</sub>, учитывающий соотношение давлений за и перед ПУ. При максимальном критическом расходе среды  $\beta^* < (\beta^*)_{кл}$ , коэффициент ( $B_2$ )<sub>a</sub> = 1 [13, стр .50].

$$B_2 = 1$$

$$1$$

Определяем коэффициент, учитывающий физико-химические свойства газов и паров при рабочих параметрах при  $\beta_a < (\beta^*)_a$ :

$$B_3 = 1.59 \sqrt{\frac{k}{k+1} \left( \frac{2}{k+1} \right)^{\frac{k}{k-1}}}$$

$$0.65235$$

Определяем коэффициент ( $B_1$ )<sub>(z=1)</sub>, учитывающий физико-химические свойства газов и паров при температуре и коэффициенте сжимаемости (z)=1.

$$B_1 = 5.46 B_3 \sqrt[3]{\frac{M}{T_1}}$$

$$2.43336$$

Определим коэффициент ( $B_1$ )<sub>a</sub>, учитывающий физико-химические свойства газов и паров :

$$(Subscript[B, 1])_a = B_1 / \sqrt{z}$$

2.43336

При  $m = m_k = 71360$  кг/ч находим произведение  $(Subscript[\alpha, 1]F)_R$ , мм<sup>2</sup>:

$$(Subscript[\alpha, 1]F)_R = m_k / (10 (Subscript[B, 1])_a B_2 (P_1 + 0.1))$$

5236.73

В качестве ПУ выбираем пружинный полноподъемный предохранительный клапан  $\alpha_1 = 0.7$  по таблице П8.

Площадь узкого сечения седла, мм<sup>2</sup>:

$$\alpha_1 = 0.7$$

0.7

$$(Subscript[\alpha, 1]F)_R = 5236.73$$

$$(Subscript[F, C])_R = (Subscript[\alpha, 1]F)_R / \alpha_1$$

5236.73

7481.04

Диаметр узкого сечения седла, мм :

$$(Subscript[d, c])_R = \sqrt{\frac{(F_c)_R}{0.785}}$$

97.6217

Выбираем [13, табл. П5, П8] четыре клапана пружинных полноподъемных фланцевых типа СППК4Р-16 (17нж92ст) для высоко агрессивных сред с температурой до 200 °С, на условное давление  $P_y = 1.6$ , входной патрубков  $D_y = 200$  мм, выходной патрубков  $D_{y1} = 250$  мм, диаметр узкого сечения седла  $d_c = 142$  мм.

$d_c = 142$

142

Выполним проверку выбранного клапана по формуле РостехНадзора.

При  $k = 1.3$  и  $\beta^* = 0.178571$  определяем коэффициент  $V = 0.521$  по таблице П11 [13, стр. 170].

$$V = 0.521$$

0.521

Аварийный расход через один ПК, кг/ч :

$$m_{k1} = m_k / 4$$

17840

Определяем площадь седла, мм<sup>2</sup>:

$$\rho = 1.0074 \text{ (*кг/м}^3\text{*)}$$

$$F_{пр} = m_{k1} / (5.03 \alpha_1 V \sqrt{(P_1 + P_2) \rho})$$

1.0074

14286.

Определяем расчетный диаметр ПК, мм :

$$d_{пр} = \sqrt{\frac{F_{пр}}{0.785}}$$

134.903

$d_c \geq d_{пр}$

True

#### 5.4. Заключение

В ходе выполнения курсовой работы рассмотрены основные причины аварийного превышения давления, различные виды и конструкции предохранительных устройств.

Приведены основные нормы и методы расчета, подбора и проектирования предохранительных устройств, рассмотрено современное программное обеспечение, применяемое при проектировании средств защиты, а именно программе VALVESTAR 7.2.3 и Wolfram Mathematica.

С помощью программы VALVESTAR 7.2.3 был выбран ПК типа 4884.8022 с минимально допустимым давлением 0.103 МПа и максимальным допустимым давлением 1.6 МПа. Максимально допустимая температура 150°C, с проходным сечением седла  $d_0=23$  мм и материалом корпуса 316L по стандарту ASME. Российский аналог стали - 03X16H15M3. А так же ПК того же типа с минимально допустимым давлением 0.01 МПа и максимальным допустимым давлением 1.6 МПа. Максимально допустимая температура 150°C, с проходным сечением седла  $d_0=23$  мм и материалом корпуса 316L по стандарту TUV.

Проведен расчет и подбор предохранительного устройства для нефтегазового сепаратора с помощью программы Wolfram Mathematica. Расчет проведен в соответствии с ГОСТ 12.2.085 – 2002. В результате расчета был выбран предохранительный пружинный полноподъемный клапан типа СППК4Р - 16, исполнение 17нж92ст, для высоко агрессивных сред,  $d_c=142$  мм,  $P_y=1,6$  МПа,  $(T_p)_{max}=200$  °С. Выбранный клапан проверен по формуле Ростехнадзора, все условия выполнены.

## 6. Социальная ответственность

Установка предварительного сброса воды (УПСВ-1 «Центр Первомайского месторождения») является пунктом сбора продукции скважин, поступающей с Первомайского месторождения [1].

Поступающая из нефтяных и газовых скважин продукция не представляет собой соответственно чистые нефть и газ. Из скважин вместе с нефтью поступают пластовая вода, попутный (нефтяной) газ, твердые частицы механических примесей (горных пород, затвердевшего цемента). Для получения товарной нефти ее необходимо подвергнуть специальной подготовке, а газ перед поступлением к потребителю проходит сепарацию и осушку. Ввиду того, что пластовая вода и различные механические примеси вызывают износ трубопроводов и оборудования, нефть отделяют от воды, газа и механических примесей до подачи в магистральный трубопровод. Система сбора и подготовки нефти включает комплекс промысловых технических средств и установок» соединенных трубопроводами. Обычно на месторождениях применяется напорная герметизированная система сбора и подготовки продукции скважин, почти полностью исключая потери углеводородов.

### 6.1. Производственная безопасность

Таблица 6.1– Опасные и вредные факторы при выполнении работ на УПСВ-1

| Наименование видов работ                     | Факторы (ГОСТ 12.0.003-74 ССБТ с измен. 1999 г.)   |   | Нормативные документы                  |
|--|--|---|--|
|  | вредные  | опасные   |  |
| 1.Обслуживание технологического оборудования | 1. Утечки токсичных и вредных веществ в атмосфере; | 1. Опасность поражения электрическим током;<br>2.Травмоопасность;<br>3.Пожаровзрывоопасность. | ГОСТ 12.1.038-82[22]<br>ГОСТ 12.1.005- |

|   |   |  |   |
|---|---|--|---|
| резервуарного парка.<br>2.Прием и размещение, перекачивание, отпуск и хранение нефти, нефтепродуктов, сжиженных газов, реагентов и других продуктов | 2.Выхлопы газообразных нефтепродуктов от дыхательных клапанов РВС и дренажных емкостей; |  | 88[23]<br>СанПиН 2.2.4.548-96[24]<br>ГОСТ 12.1.004-91[25]<br>ГОСТ 12.1.007-76[26] |
|---|---|--|---|

### **6.1.2. Анализ вредных производственных факторов и обоснование мероприятий по их устранению**

Рассмотрим основные наиболее вероятные вредные производственные факторы на рабочем месте оператора технологических установок.

#### **6.1.2.1. Наличие токсичных и вредных веществ.**

Главным источником формирования данного фактора является возможная разгерметизация трубопроводов или оборудования при проведении сливноналивных операций, что может вызвать отравление парами углеводородов.

Таблица 6.1.2.1– Свойства сырья, готовой продукции и отходов производства [23]

| Наименование сырья, полупродуктов, готовой продукции, отходов производства | Характеристика токсичности (воздействие на организм человека) | Предельно- допустимая концентрация веществ в воздухе рабочей зоны мг/м <sup>3</sup> [23] |
|--|---|--|
| Нефть  | Пары обладают   | 10 - при перекачке; 300  |

|              |   |                |
|--------------|---|----------------|
|              | наркотическим<br>действием; вызывают<br>отравление; при<br>контакте с кожей<br>возможна пигментация | - при хранении |
| Нефтяной газ | Оказывает<br>физиологическое<br>воздействие,<br>напоминающее<br>опьянение                           | 300            |

В соответствии с ГОСТ 31378 – 2009 [27] нефть и нефтепродукты представляет собой темную, горючую жидкость со специфическим запахом. Цвет и запах нефти обуславливается присутствием азотсодержащими, серосодержащими и кислородсодержащими компонентами.

Нефть и нефтепродукты содержат легкоиспаряющиеся вещества, опасные для здоровья и жизни человека.

Нефть и нефтепродукты при перекачке и отборе проб относится к 3-му классу опасности, ПДК аэрозоля нефти в воздухе рабочей зоны не более 10 мг/м<sup>3</sup>.

При хранении и лабораторных испытаниях, нефть относится к 4-му классу опасности с ПДК по алифатическим предельным углеводородам C1 – C10 не более 300 мг/м<sup>3</sup>.

Нефть и нефтепродукты содержат легкоиспаряющиеся вещества, опасные для здоровья и жизни человека, а также азотсодержащие, серосодержащие и кислородсодержащими компоненты. Контакт с нефтью вызывает сухость кожи, пигментацию или стойкую эритему, приводит к образованию угрей, бородавок на открытых частях тела. Острые отравления парами нефти вызывают повышение возбудимости центральной нервной системы, снижение кровяного давления и обоняния.

При работе с нефтью и нефтепродуктами применяют средства индивидуальной защиты по ГОСТ 12.4.011, ГОСТ 12.4.103, ГОСТ 12.4.111, ГОСТ 12.4.112.

Для индивидуальной защиты в местах с концентрацией паров нефти, превышающей ПДК, применяют противогазы марки БКФ, шланговые противогазы марки ПШ-1 или аналогичные в соответствии с ГОСТ 12.4.034.

Для защиты кожи рук применяют защитные рукавицы, мази и пасты по ГОСТ 12.4.068 [28].

Для защиты глаз использовать очки типа ЭП2-80.

Для коллективной защиты от воздействия паров нефти помещения, в которых проводят работы, должны быть снабжены приточно-вытяжной вентиляцией с механическим побуждением, отвечающей требованиям ГОСТ 12.4.021 [29]. В местах возможного выделения химических веществ в воздух рабочей зоны должны быть оборудованы местные вытяжные устройства.

### **6.1.3. Анализ опасных производственных факторов и обоснование мероприятий по их устранению (техника безопасности)**

Рассмотрим основные наиболее вероятные опасные производственные факторы на рабочем месте оператора технологических установок.

#### **6.1.3.1. Опасность поражения электрическим током**

При пользовании любыми электрическими приборами или аппаратами необходимо всегда помнить о том, что некорректное обращение с ними, неисправное состояние электропроводки или самого электроприбора, несоблюдение определенных мер предосторожности могут привести к поражению электрическим током. Неисправность электропроводки может стать причиной возгорания проводов и возникновения пожаров.

При эксплуатации электроприборов и электрооборудования возможно воздействие на работающих следующих опасных производственных факторов: поражение электрическим током при прикосновении к

токоведущим частям; неисправность изоляции или заземления; искрение; возгорание.

Во время работы, а также во время перерывов на отдых следует строго выполнять следующие правила электробезопасности:

- перед первоначальным использованием электроприборов и электрооборудования внимательно ознакомиться с инструкцией по эксплуатации;
- включение электроприборов производить вставкой исправной вилки в исправную розетку; не включать электроприборы и электрооборудование в электрическую сеть мокрыми (влажными) руками;
- при неисправности электроприбора и электрооборудования прекратить работу, отключить электроприбор и электрооборудование от сети и сообщить непосредственному руководителю;
- неукоснительно выполнять требования плакатов и знаков безопасности в зданиях, помещениях и на территории;
- не наступать на электрические провода и кабели временной проводки, проложенные на поверхности пола (земли);
- лица, эксплуатирующие электроприборы и электрооборудование, обязаны строго соблюдать правила пожарной безопасности, знать места расположения первичных средств пожаротушения, а также места их экстренного отключения;
- в процессе эксплуатации электроприборов и электрооборудования персонал должен содержать в чистоте рабочее место;
- соблюдать правила эксплуатации электроприборов и электрооборудования, не подвергать электроприборы и оборудование механическим ударам, не допускать их падения;
- не производить самостоятельно ремонт и наладку неисправных электроприборов и электрооборудования.

Каждый раз перед пуском (включением) агрегата (механизма) с электроприводом необходимо убедиться: - в наличии и исправности надёжного контактного соединения корпуса электродвигателя и токопроводящего кабеля с контуром заземления; - в исправности узлов взрывозащиты, уплотнений, наличие болтов крепления; - в наличии нанесенных стрелок на двигателях и приводимых ими механизмах,

указывающих направление вращения механизма; - наличие на кнопках управления надписей с наименованием агрегата, к которому они относятся, и положения «ПУСК», «СТОП»; - в отсутствии вблизи агрегата посторонних лиц, ремонтного персонала на узловых соединениях агрегата; - в наличии необходимых ограждений, наличие смазки.

При обслуживании агрегатов и механизмов с электроприводом необходимо вести постоянный контроль: - работы электродвигателя, вибрации, температурой элементов и охлаждающих сред электродвигателя (температурой подшипников, воздуха и т.д.); - наличия кожухов на вращающихся частях агрегатов, целостностью защитного заземления электродвигателя, токопроводящих проводов, кабелей и кнопок управления; - работоспособности вентиляции, наличие и достаточность освещения.

Электродвигатели агрегатов и механизмов разрешается пускать из холодного состояния 2 раза подряд, из горячего – 1 раз. Последующие пуски разрешаются после охлаждения электродвигателя.

Электрооборудование должно быть немедленно остановлено в следующих случаях: - при несчастных случаях с людьми; - при появлении дыма или огня из корпуса электрооборудования; - при поломке приводного механизма; - нагрева подшипников выше допустимых норм; - прекращения подачи масла в маслосистему; - попадания воды в маслосистему; - при значительном снижении числа оборотов электродвигателя; - при резком увеличении вибрации подшипников агрегата.

#### **6.1.3.2. Механические опасности**

Так как не происходит движения частей механизмов данной опасности не возникает.

#### **6.1.3.3. Взрывопожароопасность**

Главным источником формирования данного фактора является возможностью возникновения заряда статического электричества вследствие трения слоев нефти (конденсата) друг о друга или со стенкой трубы (оборудования). Электрические заряды при перекачке

нефтепродуктов возникают как в самом нефтепродукте, так и на стенках сосудов, трубопроводов, в которых она находится. Величина возникающего заряда статического электричества в некоторых случаях достаточна для возникновения мощного электрического разряда, который может послужить источником зажигания и возникновения пожара.

Технологические операции с нефтепродуктами, являющимися хорошими диэлектриками, сопровождаются образованием электрических зарядов – статического электричества. Для устранения опасности разрядов статического электричества при технологических операциях необходимо предусматривать следующие меры:

- заземление резервуаров, цистерн, трубопроводов;
- снижение интенсивности генерации зарядов статического электричества путем уменьшения скорости налива при правильном подборе диаметра трубопровода.

Заземляющие устройства для защиты от статического электричества объединены с заземляющими устройствами для электрооборудования и молниезащиты. Ручной отбор проб допускается не ранее, чем через 10 минут после прекращения налива. Пробоотборник должен иметь токопроводящий приваренный к его корпусу медный тросик. Перед отбором пробы пробоотборник должен быть надежно заземлен путем подсоединения медного тросика к клеммному зажиму, расположенному преимущественно на перильном ограждении резервуара.

Осмотр и текущий ремонт заземляющих устройств защиты от проявлений статического электричества должны проводиться одновременно с осмотром и текущим ремонтом технологического и электротехнического оборудования. Измерения электрических сопротивлений заземляющих устройств должны проводиться не реже одного раза в год.

## **6.2. Экологическая безопасность**

Подготовка нефти это многостадийный процесс, который включает в себя обезвоживание и обессоливание нефти.

Подготовка нефти не является безотходным процессом. При подготовке нефти так же возможны выбросы в атмосферу. Экология подготовки нефти включает в себя проблемы загрязнения атмосферы, гидросферы и литосферы.

### 6.2.1 Защита жилой зоны

Для промышленных объектов и производств, сооружений, являющихся источниками воздействия на среду обитания и здоровье человека устанавливаются следующие ориентировочные размеры санитарно-защитных зон:

После проведения оценки воздействия производственной деятельности на окружающую среду согласно СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03 [30] принимаем ориентировочный размер санитарно-защитной зоны.

Таблица 6.2.1 – Санитарная классификация предприятий и ориентировочные размеры нормативных санитарно-защитных зон

| Класс                                       | Вид производства  |
|---|---|
| Класс I – санитарно-защитная зона<br>1000 м | Предприятия по добыче нефти при выбросе сероводорода от 0,5 до 1 т/сутки, а также с высоким содержанием летучих углеводородов |

### 6.2.2 Воздействие объекта на атмосферу

Основные источники загрязнения при подготовки нефти это выбросы вредных веществ в атмосферу с факела. При сжигании попутного нефтяного газа на факелах высокого и низкого давления в атмосферу выбрасывается большое количество загрязняющих веществ: диоксид азота, углерод черный (сажа), оксид углерода, метан, бензапирен.

Таблица 6.2.2 - Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест по ГН 2.1.6.1338 – 03 [32]

| Наименование вещества | Формула                       | Величина ПДК, мг/м <sup>3</sup> |                 | Класс опасности |
|-----------------------|-------------------------------|---------------------------------|-----------------|-----------------|
|                       |                               | Максимально разовое             | Средне суточное |                 |
| Безол                 | C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> | 0,3                             | 0,1             | 2               |
| Хлор                  | Cl <sub>2</sub>               | 0,1                             | 0,03            | 2               |
| Оксид углерода        | CO                            | 5                               | 3               | 4               |
| Безол                 | C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> | 0,3                             | 0,1             | 2               |
| Хлор                  | Cl <sub>2</sub>               | 0,1                             | 0,03            | 2               |
| Оксид углерода        | CO                            | 5                               | 3               | 4               |
| Безол                 | C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> | 0,3                             | 0,1             | 2               |

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 на абсорбционных установках.

### 6.2.3 Воздействие объекта на гидросферу

Загрязненные стоки на установке подготовки нефти (УПН) перегонки образуются за счет конденсации насыщенного водяного пара, используемого для пропарки оборудования, либо при отгрузке нефти.

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.

### 6.2.4 Воздействие объекта на литосферу

На предприятии только в процессе глубокого обессоливания и обезвоживания нефти выделяется около 26-30т. твердых солей и механических примесей, содержащих в своем составе до 35% смеси углеводородов и 35-60% воды. Таким образом, нефтеперерабатывающее предприятие "вырабатывают" более 100 т в сутки твердых, нефтесодержащих и пожароопасных отходов.

Таблица 6.2.4 – Утилизация твердых отходов

| Наименование отхода | Место складирования, транспортировка                                | Периодичность образования  | Место захоронения, утилизация                         |
|---------------------|---|--|---|
| Нефтешлам           | Специально оборудованная площадка с контейнерами для сбора отходов. | Постоянно.<br>Чистка и вывоз шлама с установки в период ремонта и чистки | Вывоз на специально отведенное место для захоронения. |

|   |   | оборудования. |   |
|---|---|---------------|---|
| Люминесцентные ртутьсодержащие трубки отработанные и брак   | В закрытой таре отдельно(тара завода – изготовителя)            | Периодически. | Отходы передают на пункт приема ртутьсодержащих отходов в п.Пионерном ООО «ТКС», с передачей ООО «ТРАНССИБ» на обезвреживание |
| Прочие отходы нефтепродуктов, продуктов переработки нефти, угля, газа, горючих сланцев и торфа (Грунт, загрязненный нефтепродуктами | Места накопления отсутствуют                                    | Периодически  | Накопление не осуществляется. Сразу после образования вывозится для обезвреживания на шламонакопитель ВГНМ ООО «ССЭ»          |
| Мусор от бытовых помещений организаций несортированный (исключая крупногабаритный)<br>*   | В закрытой таре в смеси (контейнер V=0.7м <sup>3</sup> , 3 шт.) | 1 неделя      | Накопление осуществляется в металлических контейнерах. По мере накопления вывозятся для захоронения на полигон ТБО ВГНМ       |

### 6.3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Данное производство по подготовке нефти 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 предприятия по подготовки нефти входят как площадочные опасные производственные объекты (насосы, емкости, резервуары, печи, сепараторы, электродигидраторы), так и линейные (различные трубопроводы). Возможны различные аварийные ситуаций: разгерметизация оборудования, трубопроводов, пожары как следствие взрывов.

Таблица 6.3- 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, разгерметизация трубопровода  | Несоблюдение режима ведения процесса, разгерметизация оборудования и | 1. Необходимо вызвать пожарную охрану и бригаду скорой помощи;                        |
|   |  | 2. Включение звуковой аварийной сигнализации.   |
|   |  | 3. Перекрыть подачу теплоносителей. Прекратить подачу сырья.                          |
|   |  | 4. Сброс давления на факел.   |
|   |  | 5. Остановка остального оборудования.   |

|   |   |   |
|---|---|---|
|   | трубопрово-<br>д<br>в, разлив<br>взрыво-<br>пожароопасн<br>ых веществ         |   |
| Протечки в<br>запорно-<br>регулирующе<br>й арматуре<br>или в<br>аппаратах | Разгерметиза<br>ция запорно-<br>регулирующе<br>й арматуры<br>или<br>аппаратов | 1. Сообщить начальнику цеха или мастеру<br>установки;<br>2. Ликвидация протечек с остановкой<br>оборудования (если не возможно устранить<br>по другому)<br>3. Ликвидировать протечки без остановки<br>оборудования. |
| Сбой<br>системы<br>электроснабж<br>ения                                   | Неполадки в<br>системе<br>электроснабж<br>ения                                | 1. Сообщить начальнику цеха или мастеру<br>установки;   |
|   |   | 2. Перекрыть подачу топлива к горелкам<br>печей.  |
|   |   | 3. Подать пар на паровую завесу печей.  |
|   |   | 4. Проконтролировать отключение всего<br>насосно-компрессорного оборудования.   |
| Увеличение<br>содержания<br>нефтепродукт<br>ов в<br>подтоварной<br>воде   | 1. Низкий<br>уровень<br>раздела фаз   | 1. Поднять уровень раздела фаз в<br>соответствии с НТР;<br>2. Проверить работу регуляторов уровня в<br>аппарате.  |
| Повышенная<br>вибрация<br>насоса  | 1.<br>Неправильная<br>центровка<br>электродвигат                              | 1.1. Отцентрировать насос   |

|                                      |   |   |
|--------------------------------------|---|---|
|                                      | теля с насосом  |   |
| Давление на приеме насоса ниже нормы | 1.Нарушение режима сепарации;<br>2. Засорен фильтр входного трубопровода;<br>3. Неисправность или неполное открытие задвижки; | 1. Отрегулировать режим сепарации;<br>2. Очистить сетку;<br>3.Открыть задвижку, отремонтировать задвижку; |

### **6.3.1.Превентивные меры и действия в случае возникновения пожара**

В данных условия наиболее вероятной и типичной ЧС является возникновение пожара.

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, ломami, топорами и т.п.), которые используются для локализации и ликвидации пожаров в начальной стадии их развития.

Для защиты жизни и здоровья сотрудников в случае возникновения пожара следует применять следующие основные мероприятия гражданской обороны:

- укрытие людей в приспособленных под нужды защиты населения помещениях производственных, общественных и жилых зданий, а также в специальных защитных сооружениях;

- эвакуацию населения из зон ЧС;

- использование средств индивидуальной защиты органов дыхания и кожных покровов;

- проведение мероприятий медицинской защиты;

- проведение аварийно-спасательных и других неотложных работ в зонах ЧС.

#### **6.4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности**

Глава составлена с учетом «Требований к структуре и оформлению проектной документации на разработку месторождений углеводородного сырья», утвержденных Приказом МПР России от 08.07.2010 г. № 254.

Требования по охране недр установлены законодательными и нормативными документами федерального уровня, основные из которых приведены ниже:

- Конституция Российской Федерации [31]; - Закон Российской Федерации «О недрах»; - «Правила охраны недр»; - «Правила безопасности в нефтяной и газовой промышленности».

Кроме указанных выше нормативно-правовых актов федерального уровня недропользователь должен в своей хозяйственной деятельности руководствоваться нормативно-правовыми актами Томской области, направленными на охрану недр.

К работе оператором ТУ допускаются лица не моложе 18 лет, имеющие квалификацию по профессии «оператор технологических установок», прошедшие медицинское освидетельствование и годные по

состоянию здоровья, прошедшие вводный инструктаж и инструктаж на рабочем месте, обучение и проверку знаний по охране труда и промышленной безопасности, практически освоившие безопасные методы и приемы правильного обращения с механизмами, приспособлениями, инструментом. Оператор ТУ обязан соблюдать действующие в организации правила внутреннего трудового распорядка, график работы, режим труда и отдыха.

В соответствии с действующим законодательством оператору ТУ выдаются специальная одежда, специальная обувь и другие средства индивидуальной защиты, предусмотренные типовыми отраслевыми нормами. На рабочем месте должны быть запасы сырья и материалов, не превышающие сменную потребность. Необходимо знать специфические свойства применяемых веществ и соблюдать установленные правила работы с ними. Производственный процесс должен быть организован так, чтобы не допускать выделения в воздух рабочей зоны пыли и вредных веществ.

## **7. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение**

### **7.1. Предпроектный анализ**

#### **7.1.1. Потенциальные потребители результатов исследования**

Любой ученый заинтересован в тех потребителях, которые приобретут его разработку по цене, обеспечивающей получение прибыли в достаточном объеме и на протяжении длительного периода. Поэтому необходимо четко представлять, кто является конечным потребителем разработки или кто может стать им в будущем и по какой причине они эту разработку приобретают, т. е. определить свой целевой рынок.[33]

В нашем случае сегментами рынка выступают размер компании и ее местоположение.

Таблица 7.1.1. –Потенциальные потребители результатов исследования

|                        |         | <b>Месторасположение</b>                      |                                 |
|------------------------|---------|---|---------------------------------|
|                        |         | Сибирский федеральный округ                   | Ямало-ненецкий автономный округ |
| <b>Размер компании</b> | Крупные | ПАО «НК «Роснефть»                            | ОАО «Газпром»                   |
|                        | Средние | ОАО «Томскнефть»                              |                                 |
|                        | Мелкие  | ООО «Стрежевской нефтеперерабатывающий завод» |                                 |

#### **7.1.2 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения**

Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения позволяет провести оценку

сравнительной эффективности научной разработки и определить направления для ее будущего повышения. Для этого составлена оценочная карта, приведенная в таблице 2. Конкурент 1 - вертикальный сепаратор и горизонтальный отстойник, конкурент 2- вертикальный сепаратор и вертикальный отстойник [33].

Таблица 7.1.2 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических разработок

| Критерии оценки  | Вес критерия | Баллы          |                 |                 | Конкурентоспособность |                 |                 |
|--|--------------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------------|-----------------|-----------------|
|  |              | Б <sub>ф</sub> | Б <sub>к1</sub> | Б <sub>к2</sub> | К <sub>ф</sub>        | К <sub>к1</sub> | К <sub>к2</sub> |
| <b>Технические критерии оценки ресурсоэффективности</b>            |              |                |                 |                 |                       |                 |                 |
| 1 Способствует росту производительности труда                      | 0,18         | 5              | 4               | 2               | 0,9                   | 0,72            | 0,36            |
| 2 Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей) | 0,14         | 5              | 4               | 2               | 0,7                   | 0,56            | 0,28            |
| 3 Простота эксплуатации  | 0,07         | 5              | 3               | 2               | 0,35                  | 0,21            | 0,14            |
| <b>Экономические критерии оценки эффективности</b>                 |              |                |                 |                 |                       |                 |                 |
| 1 Конкурентоспособность продукта                                   | 0,09         | 5              | 4               | 2               | 0,45                  | 0,36            | 0,18            |
| 2 Уровень проникновения на рынок                                   | 0,06         | 5              | 4               | 2               | 0,3                   | 0,24            | 0,12            |
| 3 Цена   | 0,07         | 5              | 4               | 3               | 0,35                  | 0,28            | 0,21            |
| 4 Предполагаемый срок эксплуатации                                 | 0,08         | 5              | 5               | 5               | 0,4                   | 0,4             | 0,4             |
| 6 Финансирование научной разработки                                | 0,04         | 5              | 5               | 5               | 0,2                   | 0,2             | 0,2             |
| 7 Срок выхода на рынок   | 0,03         | 5              | 3               | 3               | 0,15                  | 0,09            | 0,09            |
| 8 Финансирование научной разработки                                | 0,05         | 4              | 3               | 3               | 0,2                   | 0,15            | 0,15            |

|       |   |    |    |    |   |      |      |
|-------|---|----|----|----|---|------|------|
| Итого | 1 | 49 | 39 | 29 | 4 | 3,21 | 2,13 |
|-------|---|----|----|----|---|------|------|

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum V_i \cdot B_i,$$

где  $K$  – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;  $V_i$  – вес показателя (в долях единицы);  $B_i$  – балл  $i$ -го показателя.

Таким образом, конкурентоспособность разработки составила 4, в то время как двух других аналогов 3.21 и 2.13 соответственно. Результаты показывают, что данная научно-исследовательская разработка является конкурентоспособной и имеет преимущества по всем критериям [33].

### 7.1.3 Диаграмма Исикава

Построение диаграммы причины-следствия Исикавы заключается в формулировке проблемы, являющейся объектом анализа, и выявлении факторов, влияющих на объект анализа. Диаграмма строится последовательно от факторов более высокого уровня к факторам более низкого уровня. При этом каждый фактор более низкого уровня будет являться следствием по отношению к причине более высокого уровня [33].

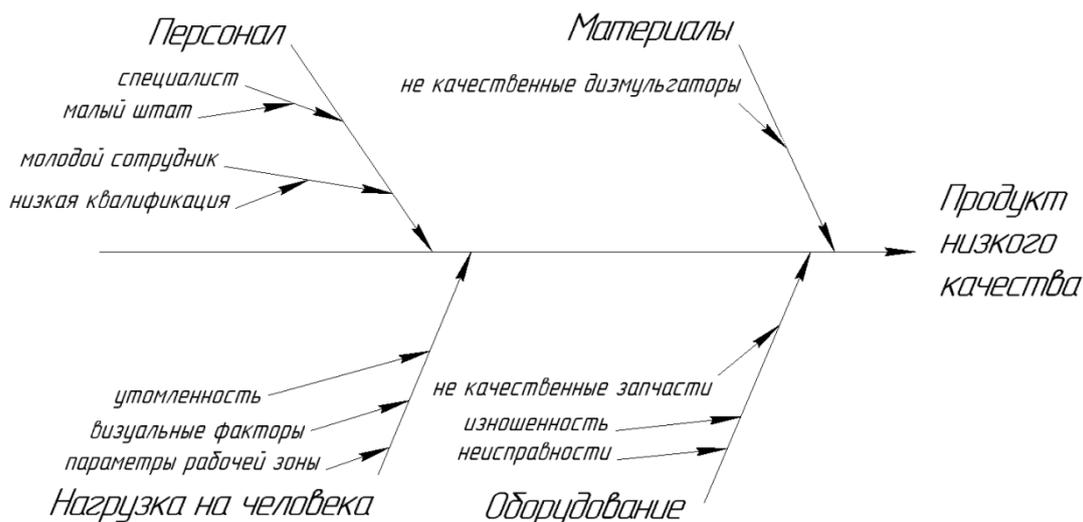


Рисунок – 7.1.3. Диаграмма Исикавы

#### 7.1.4 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). На таблице 19 показано оценки степени готовности научного проекта к коммерциализации [33].

Таблица 7.1.4 - Оценки степени готовности научного проекта к коммерциализации

| Наименование   | Степень проработанности научного проекта | Уровень имеющихся знаний у разработчика |
|--|--|---|
| Определен имеющийся научно-технический задел                                     | 4  | 4                                       |
| Определены перспективные направления коммерциализации научно-технического задела | 5  | 5                                       |
| Определены отрасли и технологии (товары, услуги) для предложения на рынке        | 5  | 5                                       |
| Определена товарная форма научно-технического задела для представления на рынок  | 4  | 4                                       |
| Определены авторы и осуществлена охрана их прав                                  | 5  | 5                                       |
| Проведена оценка стоимости интеллектуальной собственности                        | 5  | 5                                       |
| Проведены маркетинговые  | 5  | 5                                       |

| Наименование  | Степень проработанности научного проекта | Уровень имеющихся знаний у разработчика |
|---|--|---|
| исследования рынков сбыта   |  |   |
| Разработан бизнес-план коммерциализации научной разработки                        | 5  | 5                                       |
| Определены пути продвижения научной разработки на рынок                           | 5  | 5                                       |
| Разработана стратегия (форма) реализации научной разработки                       | 5  | 5                                       |
| Проработаны вопросы международного сотрудничества и выхода на зарубежный рынок    | 4  | 4                                       |
| Проработаны вопросы использования услуг инфраструктуры поддержки, получения льгот | 4  | 4                                       |
| Проработаны вопросы финансирования коммерциализации научной разработки            | 4  | 4                                       |
| Имеется команда для коммерциализации научной разработки                           | 5  | 5                                       |
| Проработан механизм реализации научного проекта                                   | 4  | 4                                       |
| <b>ИТОГО БАЛЛОВ</b>   | <b>69</b>                                | <b>69</b>                               |

Оценка готовности научного проекта к коммерциализации (или уровень имеющихся знаний у разработчика) определяется по формуле:

$$B_{\text{сум}} = \sum B_i ,$$

где  $B_{\text{сум}}$  – суммарное количество баллов по каждому направлению;

$B_i$  – балл по  $i$ -му показателю.

Значение  $B_{\text{сум}}$  позволяет говорить о мере готовности научной разработки и ее разработчика к коммерциализации. Разработка считается перспективной так как значение и знания разработчика достаточными для успешной ее коммерциализации [33].

#### **7.1.5 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.), одноразовое получение финансовых ресурсов для каких-либо целей или для накопления, обеспечение постоянного притока финансовых средств, а также их различные сочетания. При этом время продвижения товара на рынок во многом зависит от правильности выбора метода коммерциализации. Для разработанного проекта инжиниринг является самым оптимальным методом коммерциализации. Инжиниринг – 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 [33].

## 7.2.Инициация проекта

### 7.2.1. Цели и результат проекта

Инициация проекта определяют изначальные цели проекта или содержание работы. Также, в данном разделе определяются изначальные экономические – финансовые затраты. По данной работе также надо определить внутренние и внешние заинтересованные стороны проекта, которые влияют на общий результат научного проекта [33].

Таблица – 7.2.1.1 – Заинтересованные стороны проекта

| Заинтересованные стороны проекта | Ожидания заинтересованных сторон                        |
|----------------------------------|---|
| Нефтедобывающие предприятия      | Разработка оборудования за короткий промежуток времени; |

Таблица 7.2.1.2 – Цели и результат проекта

|                                      |   |
|--------------------------------------|---|
| Цели проекта:                        | Целью работы разработка оборудования , для повышения эффективности действующих установок подготовки нефти |
| Ожидаемые результаты проекта:        | Увеличение эффективности работы промышленного объекта.  |
| Критерии приемки результата проекта: | Эффективность разработки;   |
| Требования к результату проекта:     | Требование:   |
|                                      | Соответствие современным ГОСТ   |
|                                      | , возможность использования в реальном производстве   |

### 7.2.2. Организационная структура проекта

На данном этапе работы необходимо решить следующие вопросы: кто будет входить в рабочую группу данного проекта, определить роль каждого

участника в данном проекте, а также прописать функции, выполняемые каждым из участников и их трудозатраты в проекте [33].

Таблица 7.2.2 – Рабочая группа проекта

| <b>№ п/п</b> | <b>Фамилия И.О. место работы, должность</b> | <b>Роль в проекте</b> | <b>Функции в проекте</b>  | <b>Трудо-затраты, час.</b> |
|--------------|---|-----------------------|---|----------------------------|
| <b>1</b>     | Семакина О.К.                               | Руководитель проекта  | Отвечает за реализацию, координирует деятельность участников проекта                | 50                         |
| <b>2</b>     | Галеев В.Р.                                 | Исполнитель проекта   | Выполнение экспериментальной и расчетной части                                      | 70                         |
| <b>3</b>     | Криницина З.В.                              | Консультант           | Отвечает за раздел финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсо-сбережение | 2                          |
| <b>4</b>     | Ахмеджанов Р.Р.                             | Консультант           | Отвечает за раздел социальной ответственности                                       | 2                          |
| <b>5</b>     | Беляев В.М.                                 | Консультант           | Отвечает за конструктивно-механический раздел                                       | 2                          |

### **7.2.3. Ограничения и допущения проекта**

Ограничения и допущения проекта – это все факторы, которые могут послужить ограничением степени свободы участников команды проекта, а также «границы проекта» [33].

Таблица 7.2.3 – Ограничения проекта

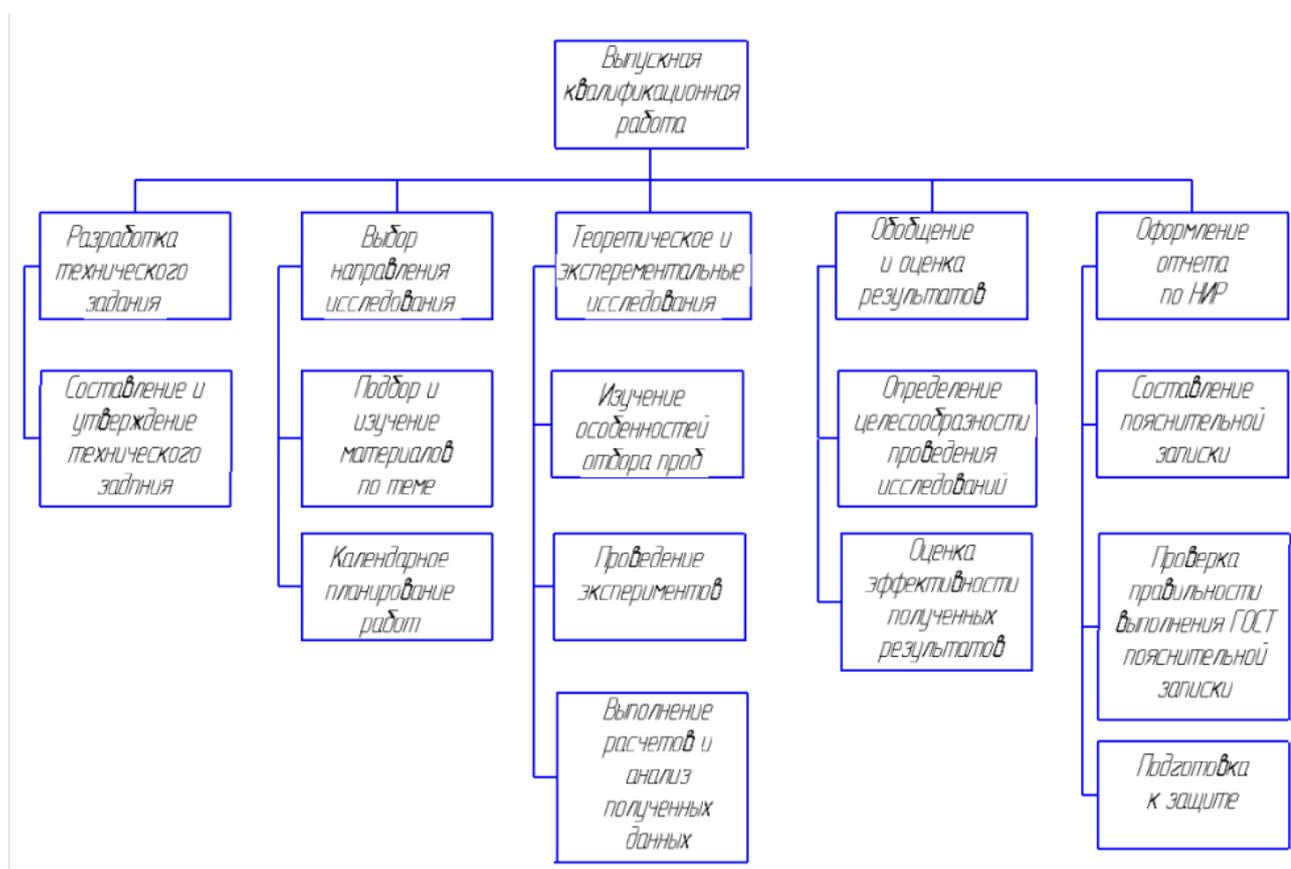
| <b>Фактор</b>                                     | <b>Ограничения/ допущения</b>   |
|---|---|
| 3.1. Бюджет проекта                               | Финансовой поддержке<br>государственного задания<br>Министерства образования и науки<br>РФ на проведение научно-<br>исследовательских работ ТПУ № 862 |
| 3.2. Сроки проекта:                               |   |
| 3.2.1. Дата утверждения плана управления проектом | -   |
| 3.2.2. Дата завершения проекта                    | 30.05.2018 г  |
| 3.3. Прочие ограничения и допущения*              | -   |

### **7.3. Планирование управления научно-техническим проектом**

Группа процессов планирования состоит из процессов, осуществляемых для определения общего содержания работ, уточнения целей и разработки последовательности действий, требуемых для достижения данных целей [33].

#### **7.3.1. Иерархическая структура работ проекта**

*Иерархическая структура работ* (ИСР) – детализация укрупненной структуры работ. В процессе создания ИСР структурируется и определяется содержание всего проекта.



**Рис. 7.3.1. Иерархическая структура работ проекта**

В рамках данного раздела были определены ключевые события проекта, определены их даты и результаты, которые должны быть получены по состоянию на эти даты [33].

Таблица 7.3.2. Контрольные события проекта

| № п/п | Контрольное событие                                   | Дата         | Результат (подтверждающий документ) |
|-------|---|--------------|-------------------------------------|
| 1     | Изучение литературы, составление литературного обзора | 15.01-12.03  | -                                   |
| 2     | Проведение  | 10.01 -05.04 | отчет                               |

|   |   |              |       |
|---|---|--------------|-------|
|   | расчетов                                |              |       |
| 3 | Разработка<br>оборудован<br>ия          | 05.04 -20.04 | отчет |
| 4 | Оформление<br>выводов                   | 05.04 -25.04 | отчет |
| 5 | Оформление<br>пояснительн<br>ой записки | 15.04 31.05  | отчет |

### 7.3.3. План проекта

Диаграмма Ганта – горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ.

График строится с разбивкой по месяцам и декадам (10 дней) за период времени дипломирования. При этом работы на графике выделяются различной штриховкой в зависимости от исполнителей, ответственных за ту или иную работу [33].

Таблица 7.3.3.1 – Календарный график проведения НИР по теме

| Название  | Время,<br>дни | Дата<br>начала<br>работ | Дата<br>окончания<br>работ | Состав участников   |
|---|---------------|-------------------------|----------------------------|---|
| Изучение<br>литературы,<br>составление<br>литературного<br>обзора | 59            | 1.01                    | 12.03                      | Галеев Вильям<br>Рашитович,<br>Семакина Ольга<br>Константиновна |
| Проведение  | 10            | 10.01                   | 05.04                      | Галеев Вильям   |

|  |     |       |       |  |                 |
|--|-----|-------|-------|--|-----------------|
| расчетов                               |     |       |       | Рашитович,<br>Семакина<br>Константиновна           | Ольга           |
| Разработка<br>оборудования             | 10  | 05.04 | 20.04 | Галеев<br>Рашитович,<br>Семакина<br>Константиновна | Вильям<br>Ольга |
| Оформление<br>выводов                  | 20  | 05.04 | 25.04 | Галеев<br>Рашитович,<br>Семакина<br>Константиновна | Вильям<br>Ольга |
| Оформление<br>пояснительной<br>записки | 45  | 15.04 | 31.05 | Галеев<br>Рашитович,<br>Семакина<br>Константиновна | Вильям<br>Ольга |
| <b>И т о г о:</b>                      | 150 | 15.01 | 31.05 |  |                 |

Таблица 7.3.3.2 - Диаграмма Ганта

| Вид работ           | Исполнитель<br>и<br>руководител<br>ь | Т <sub>к</sub> ,<br>кал,дн | Продолжительность выполнения работ |   |         |   |   |      |   |   |        |   |   |     |   |   |  |
|---------------------|--------------------------------------|----------------------------|------------------------------------|---|---------|---|---|------|---|---|--------|---|---|-----|---|---|--|
|                     |                                      |                            | январь                             |   | февраль |   |   | март |   |   | апрель |   |   | май |   |   |  |
|                     |                                      |                            | 2                                  | 3 | 1       | 2 | 3 | 1    | 2 | 3 | 1      | 2 | 3 | 1   | 2 | 3 |  |
| Изучение литературы | Магистрант,<br>руководител<br>ь      | 59                         | ■                                  |   |         |   |   |      |   |   |        |   |   |     |   |   |  |
| Проведение расчетов | Магистрант,<br>руководител<br>ь      | 15                         | ■                                  |   |         |   |   |      |   |   |        |   |   |     |   |   |  |



### 7.3.4.2 Затраты на оплату труда работников, непосредственно занятых выполнением НИОКР

Основная заработная плата ( $Z_{\text{осн}}$ ) руководителя от университета:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_{\text{раб}}$$

где  $Z_{\text{осн}}$  – основная заработная плата работника;  $T_{\text{р}}$ – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн.;  $Z_{\text{дн}}$ – среднедневная заработная плата работника, руб.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_{\text{м}} \cdot M}{F_{\text{д}}}$$

где  $Z_{\text{м}}$  – месячный должностной оклад работника, руб.;  $M$  – количество месяцев работы без отпуска в течение года: при отпуске в 24 раб.дня за полгода  $M = 4,7$  месяца, 6-дневная неделя;  $F_{\text{д}}$  – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн.

Таблица 7.3.4.2.1 – Баланс рабочего времени

| Показатели рабочего времени                  | Руководитель | Магистрант |
|--|--------------|------------|
| Календарное число дней                       | 150          | 150        |
| Количество нерабочих дней                    |              |            |
| - выходные дни                               | 21           | 21         |
| - праздничные дни                            | 14           | 14         |
| Потери рабочего времени                      |              |            |
| - отпуск                                     | -            | -          |
| - невыходы по болезни                        |              |            |
| Действительный годовой фонд рабочего времени | 115          | 115        |

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_{\text{м}} = Z_{\text{б}} \cdot k_{\text{р}},$$

где  $Z_6$  – базовый оклад, руб.;  $k_p$  – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

Таблица 7.3.4.2.2 – Расчёт основной заработной платы

|              | $Z_6$ , руб. | $k_p$ | $Z_m$ , руб. | $Z_{дн}$ , руб. | $T_{раб.}$ дн. | $Z_{осн}$ , руб. |
|--------------|--------------|-------|--------------|-----------------|----------------|------------------|
| Руководитель | 23264,86     | 1,3   | 30244,32     | 2330,30         | 115            | 267984.5         |
| Студент      | 0            | -     | -            | -               | 115            | 0                |

Ниже приведен расчет по статье «Отчисления во внебюджетные фонды», то есть отчисления в пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.

$$C_{внеб} = k_{внеб} \cdot Z_{осн}$$

где  $k_{внеб}$  – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды равный 27,1%.

Таблица 7.3.4.2.3 – Отчисления на социальные нужды

|                          | Руководитель | Магистрант |
|--------------------------|--------------|------------|
| Зарплата                 | 267984.5     | 0          |
| Отчисления на соц. нужды | 72623.7      | -          |

Дополнительная заработная плата включает оплату за непроработанное время (очередной и учебный отпуск, выполнение государственных обязанностей, выплата вознаграждений за выслугу лет и т.п.) и рассчитывается исходя из 10-15% от основной заработной платы, работников, непосредственно участвующих в выполнении темы:

$$Z_{доп} = K_{доп} \cdot Z_{осн}$$

где  $Z_{доп}$  – дополнительная заработная плата, руб.;

$K_{доп}$  – коэффициент дополнительной зарплаты;

$Z_{осн}$  – основная заработная плата, руб.

Таблица 7.3.4.2.4 – Заработная плата исполнителей НИОКР

|                                      |              |
|--------------------------------------|--------------|
| Заработная плата                     | Руководитель |
| Основная зарплата                    | 267984.5     |
| Дополнительная зарплата(15% выслуга) | 40197.675    |
| Итого по статье С <sub>зп</sub>      | 308182.175   |

### 7.3.4.3 Электроэнергия

Компьютер потребляет 0,15 кВт\*ч. В Томске 1 кВт\*ч стоит 2,7 рублей.

На работу за компьютером было затрачено 70 часов. Значит стоимость потраченной электроэнергии  $0,15 \cdot 70 \cdot 2,7 = 28.35$  руб

### 7.3.4.4 Накладные расходы

В данную статью входят расходы на содержание аппарата управления и общехозяйственных (общеуниверситетских) служб, которые в равной степени относятся ко всем выполняемым НИОКР. По этой статье учитываются оплата труда административно-управленческого персонала, содержание зданий, оргтехники и хоз. инвентаря, амортизация имущества, расходы по охране труда и подготовке кадров [33].

Накладные расходы лаборатории 2 корпуса НИ ТПУ составляют 80-90% от суммы основной и дополнительной заработной платы, работников, непосредственно участвующих в выполнении темы. Расчет накладных расходов ведется по следующей формуле;

$$C_{\text{накл}} = K_{\text{накл}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}),$$

где  $K_{\text{накл}}$  – коэффициент накладных расходов.  $C_{\text{накл}} = 80\% \cdot C_{\text{зп}} = 246545.74$

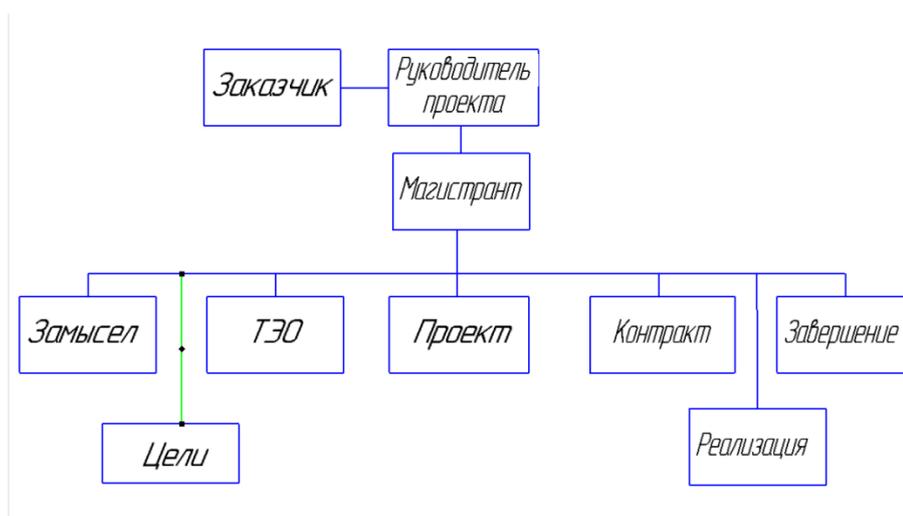
На основании полученных данных по отдельным статьям затрат составляется калькуляция плановой себестоимости НИР по форме, приведенной в таблице 7.3.4.4.

Таблица 7.3.4.4 – Калькуляции плановой себестоимости НИР

| Наименование статей затрат   | Сумма, руб. |
|--|-------------|
| 1. Специальное оборудование для проектных работ                                | 10200       |
| 2. Затраты на оплату труда работников, непосредственно занятых созданием НИОКР | 308182.175  |
| 3. Страховой взнос   | 72623.7     |
| 4. Электроэнергия  | 28.32       |
| 5. Накладные расходы   | 246545.74   |
| Итого себестоимость НИР  | 637579.96   |

### 7.3.5 Организационная структура проекта

Из нескольких базовых вариантов организационных структур, использующихся в практике, нами была выбрана проектная, которую можно изобразить следующим образом:



### 7.3.6. Матрица ответственности

Для распределения ответственности между участниками проекта формируется матрица ответственности

Таблица 7.3.6 – Матрица ответственности

| Этапы проекта | Исполнитель проекта | Руководитель проекта |
|---------------|---------------------|----------------------|
|               |                     |                      |

|   |             |               |
|---|-------------|---------------|
| Изучение литературы,<br>составление<br>литературного обзора | Исполнитель | Ответственный |
| Проведение расчетов   | Исполнитель | Ответственный |
| Разработка<br>оборудования                                  | Исполнитель | Ответственный |
| Разработка<br>оборудования                                  | Исполнитель | Ответственный |
| Оформление<br>пояснительной записки                         | Исполнитель | Ответственный |

### **7.3.7. План управления коммуникациями проекта**

План управления коммуникациями отражает требования к коммуникациям со стороны участников проекта.

Таблица 7.3.7 – План управления коммуникациями проекта

| № п/п | Какая информация передается                   | Кто передает информацию           | Кому передается информация | Когда передает информацию                             |
|-------|---|-----------------------------------|----------------------------|---|
| 1.    | Статус проекта                                | Руководитель проекта              | Представителю заказчика    | Ежеквартально (первая декада квартала)                |
| 2.    | Обмен информацией о текущем состоянии проекта | Исполнитель проекта               | Участникам проекта         | Еженедельно (пятница)                                 |
| 3.    | Документы и информация по проекту             | Ответственное лицо по направлению | Руководителю проекта       | Не позже сроков графиков и к. точек                   |
| 4.    | О выполнении контрольной точки                | Исполнитель проекта               | Руководителю проекта       | Не позже дня контрольного события по плану управления |

### 7.3.8. Реестр рисков проекта

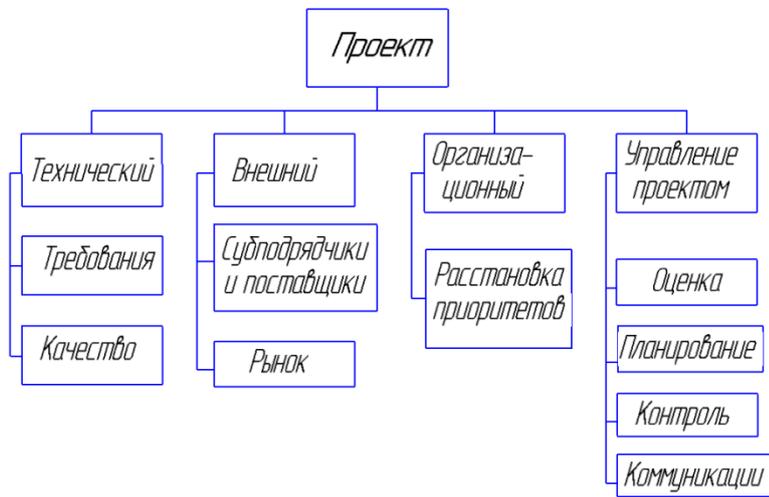
Идентифицированные риски проекта включают в себя возможные неопределенные события, которые могут возникнуть в проекте и вызвать последствия, которые повлекут за собой нежелательные эффекты.

Таблица 7.3.8 – Реестр рисков проекта

| № | Риск | Вероятность наступу | Влияние риска (1-5) | Уровень риска | Способы смягчения |
|---|------|---------------------|---------------------|---------------|-------------------|
|   |      |                     |                     |               |                   |

|                              |                            |                     |          |        |  |
|------------------------------|----------------------------|---------------------|----------|--------|--|
|                              |                            | плени<br>я<br>(1-5) |          |        |  |
| <b>Технические риски</b>     |                            |                     |          |        |  |
| <b>1</b>                     | Требования                 | <b>1</b>            | <b>3</b> | низкий | Отслеживание изменений требований к продукции.<br>Постоянный поиск путей оптимизации производства.<br>Строгий контроль качества выпускаемой продукции, соответствие ГОСТам |
| <b>2</b>                     | Качество                   | <b>2</b>            | <b>3</b> | низкий |  |
| <b>Внешние риски</b>         |                            |                     |          |        |  |
| <b>3</b>                     | Субпоставщики и поставщики | <b>3</b>            | <b>3</b> | низкий | Изучение конъюнктуры рынка.  |
| <b>4</b>                     | Рынок                      | <b>2</b>            | <b>2</b> | низкий |  |
| <b>Организационные риски</b> |                            |                     |          |        |  |
| <b>5</b>                     | Расстановка приоритетов    | <b>4</b>            | <b>4</b> | низкий | Рациональная оценка работ  |
| <b>Управление проектом</b>   |                            |                     |          |        |  |
| <b>6</b>                     | Оценка                     | <b>3</b>            | <b>3</b> | низкий | Ответственный подход к разработке и управлению проектом.   |
| <b>7</b>                     | Планирование               | <b>3</b>            | <b>3</b> | низкий |  |
| <b>8</b>                     | Контроль                   | <b>3</b>            | <b>3</b> | низкий |  |

|   |              |   |   |        |  |
|---|--------------|---|---|--------|--|
| 9 | Коммуникации | 2 | 2 | низкий |  |
|---|--------------|---|---|--------|--|



**Рис. 7.3.8. Иерархическая структура рисков**

#### **7.4. Оценка сравнительной эффективности исследования**

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования.

Таблица 7.4 - Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

| Критерии   | ПО | Весовой коэффициент параметра | Текущий проект | Аналог 1 (вертикальный сепаратор и горизонтальный отстойник) | Аналог 2 (вертикальный сепаратор и вертикальный отстойник) |
|--|----|-------------------------------|----------------|--|--|
| 1 Способствует росту производительности труда                      |    | 0,6                           | 5              | 4  | 3  |
| 2 Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей) |    | 0,25                          | 5              | 4  | 3  |
| 3 Простота эксплуатации  |    | 0,15                          | 5              | 4  | 3  |
| ИТОГО  |    | 1                             |                |  |  |

$$I_{\text{тп}} = 5 * 0,6 + 5 * 0,25 + 5 * 0,15 = 5$$

$$\text{Аналог 1} = 4 * 0,6 + 4 * 0,25 + 4 * 0,15 = 4$$

$$\text{Аналог 2} = 3 * 0,6 + 3 * 0,25 + 3 * 0,15 = 3$$

Из приведенных расчетов выявлено, что текущий проект по интегральному показателю ресурсоэффективности является выгодным и превосходит аналоги. Так как данный проект является только научной разработкой и началом исследования, то интегральный финансовый показатель разработки рассчитать не представляется возможным.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проделанной работы был проведен технологический, конструктивный расчет, где были определены геометрические размеры аппаратов и определены диаметры патрубков, и механический расчет, где были рассчитаны толщины стенок: цилиндрической обечайки и эллиптических крышек, был произведен прочностной расчет фланцевых соединений на прочность и герметичность, проведен расчет укрепления отверстий патрубков штуцеров, для аппарата были рассчитаны стандартные опоры, нефтегазосепаратора и нефтегазового отстойника. Так же была проведена разработка методики расчета защиты нефтегазового сепаратора от превышения давления и разработаны разделы социальной ответственности и финансового менеджмента, ресурсоэффективности и ресурсосбережения.

**Список научных трудов**  
**Галеева Вильяма Рашитовича**

| № | Наименование<br>научного труда                                     | Руко-<br>писн.<br>или<br>печ. | Издательство, журнал<br>(номер, год)  | Номер<br>стр. | Фамилии<br>соавторов                    |
|---|--|-------------------------------|---|---------------|---|
| 1 | Разделение<br>водонефтяной<br>эмульсии                             | Печ.                          | Материалы XIX<br>Международной<br>научно-практической<br>конференции<br>студентов и молодых<br>ученых «Химия и<br>химическая<br>технология в XXI<br>веке». □ Томск, 2018.                                   | 363-<br>364   | Семакина<br>О.К..                       |
| 2 | Влияние<br>наполнителей на<br>свойства<br>полимерной<br>композиции | Печ.                          | Материалы VI<br>Международной<br>научно-технической<br>конференции<br>молодых ученых ,<br>аспирантов и<br>студентов «Высокие<br>технологии в<br>современной науке и<br>техники (ВТСНТ-<br>17)». Томск, 2017 | 256-<br>257   | Семакина<br>О.К..<br>Колесников<br>А.Е. |

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Технологический регламент участка предварительной подготовки нефти УПСВ-1 «ЦЕНТР» первомайского месторождения ОАО «Томскнефть» ВНК, - г.Стрежевой 2016 г.

2. Лутошкин Г.С., Дунюшкин И.И. Сборник задач по сбору и подготовке нефти, газа и воды на промыслах. – М.: Альянс, 2014. – 132 с.

3. Лацинский А. А., Толчинский А. Р. Основы конструирования и расчета химической аппаратуры. – Л.: Машиностроение, 2008. – 752 с.

4. ГОСТ Р 52857.2-2007. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Расчет цилиндрических и конических обечаек, выпуклых и плоских днищ и крышек.

5. ГОСТ 9931-85. Корпусы цилиндрические стальных сварных сосудов и аппаратов. Типы, основные параметры и размеры.

6. ГОСТ Р 52857.1—2007. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Общие требования.

7. ГОСТ 6533-68. Днища эллиптические отбортованные для сосудов , аппаратов и котлов.

8. ГОСТ Р 52857.3-2007. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Укрепление отверстий в обечайках и днищах при внутреннем и внешнем давлениях. Расчет на прочность обечаек и днищ при внешних статических нагрузках на штуцер.

9. ГОСТ Р 52857.4 – 2007. Расчет фланцевых соединений.

10. ГОСТ Р 52857.5-2007. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Расчет обечаек и днищ от воздействия опорных нагрузок.

11. ОСТ 26-2091-93. Опоры горизонтальных сосудов и аппаратов.

12. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности. «Правила промышленной безопасности опасных

производственных объектов, на которых используется оборудование, работающее под избыточным давлением»

13.Беляев В.М. Расчет и проектирование средств защиты. Беляев В. М. Миронов В.М., Сечин А.И. – Томский политехнический университет. – 2-е изд. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014.- 184 с.

14.АрмотуроСтроение.2014.№5: [Электронный ресурс]. URL: <http://www.valve-industry.ru/archive/archive2014.php>.

15.Mohammad A. Malek. Обзор устройств защиты от избыточного давления. Перевод Т.С. Склярской / Valve Magazine, Winter. – 2016, с.16.

16.Ермилов В.В. Предохранительные и защитные устройства. Учебное пособие для практических занятий. – Череповец: ФГБОУ ЧГУ, 2014. – 20с. Ил.

17.ГОСТ 12.2.085 – 2002. Сосуды, работающие под давлением. Клапаны предохранительные. Требования безопасности.

18.Корельштейн Л.Б. О российской и зарубежной нормативно – методической документации по расчету и проектированию систем аварийного сброса / Промышленный сервис. №3. 2012. – 8с.

19.РД 51-0220570-2–93. Клапаны предохранительные. Выбор, установка и расчет. — ЦКБН, 1993.

20.У-ТБ-09–90. Указания по выбору, расчету и установке предохранительных клапанов. Книга 1. Установка предохранительных клапанов и направление выбросов от предохранительных клапанов. — М.: ВНИПИнефть, 1990.

21.У-ТБ-06–85 с изм. 1.2. Указания по выбору, расчету и установке предохранительных клапанов. Книга 2. Временная методика расчета количества выбросов через предохранительные клапаны. — М.: ВНИПИнефть, 1985.

22. ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов.

23. ГОСТ 12.1.005–88 (с изм. №1 от 2000 г.). ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны (01. 01.89).

24. СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений, утв. Постановлением ГКСЭН России 01. 10. 1996 г. – М.: Информационно-издательский центр Минздрава России, 1997. – 39 с.

25. ГОСТ 12.1.004-91. Пожарная безопасность. Общие требования.

26. ГОСТ 12.1.007–76 ССБТ. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности (с изм. 1990 г.).

27. ГОСТ 31378 – 2009. Нефть. Общие технические условия.

28. ГОСТ 12.4.068. Система стандартов безопасности труда. Средства индивидуальной защиты дерматологические. Классификация и общие требования.

29. ГОСТ 12.4.021. Система стандартов безопасности труда. Системы вентиляционные. Общие требования.

30. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03. Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и иных объектов.

31. Конституция Российской Федерации.

32. ГН 2.1.6.1338-03. Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест.

33. Н.А. Гаврикова. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение: учебно-методическое пособие. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. – 73 с.

## Приложение А

**Форма титульного листа приложения для раздела ВКР,  
выполненного на иностранном языке**

Раздел (4)

### Separation of water-oil emulsions

Студент:

| Группа | ФИО                     | Подпись | Дата |
|--------|-------------------------|---------|------|
| 4КМ61  | Галеев Вильям Рашитович |         |      |

Руководитель:

| Должность | ФИО           | Ученая степень,<br>звание | Подпись | Дата |
|-----------|---------------|---------------------------|---------|------|
| Доцент    | Семакина О.К. | К.Т.Н.                    |         |      |

Консультант-лингвист НОЦ им. Кижнера ИШНПТ:

| Должность | ФИО                      | Ученая<br>степень, звание     | Подпись | Дата |
|-----------|--------------------------|-------------------------------|---------|------|
| Доцент    | Игна Ольга<br>Николаевна | Доктор<br>пед.наук,<br>доцент |         |      |

## **Separation of water-oil emulsions**

Every year, Russia extracts and processes millions of tons of oil. An important stage in this technological chain is the qualitative preparation of oil.

A complex mixture consisting of oil, formation water containing mineral salts, associated petroleum gas and mechanical impurities (sand, drilling mud, etc.) is extracted from oil wells. At the same time, with each year, the watercut of oil is getting higher. In this form, the transportation of oil through trunk pipelines is not economically feasible, therefore, after the wells, oil is piped to the oil treatment unit (OTU) through the pipeline.

Preparation of oil directly in the field is important in the chain associated with the extraction, collection and transportation of commercial oil for further processing. Oil coming from fishing to OTU is an emulsion, which, as a rule, is never monodisperse, since it contains drops of water of different sizes.

The quality of oil preparation affects the efficiency and reliability of the operation of the main pipeline transport, centrifugal pumps, the cost of oil transportation. The increased content of water, chloride salts and mechanical impurities in the oil entering the processing, worsens the quality of the products obtained from it, and causes the accelerated corrosion and blockage of heat exchange and oil refineries. There are problems with the utilization of saline effluents in oil refineries.

Demulsifiers are widely used to prevent formation, as well as to destroy already formed oil emulsions. Demulsifiers are surfactants (surfactants), which, unlike natural emulsifiers, significantly reduce the resistance of oil emulsions.

Demulsifiers for the destruction of petroleum emulsions must have the ability to penetrate the oil-water interface, cause flocculation and coalescence of water droplets and well wet the surface of mechanical impurities. In the process of flocculation, the surface film of water globules becomes sufficiently weakened, its destruction and fusion of water globules occur. The process of merging droplets of water is called coalescence. Good demulsifiers should not only provide convergence of dispersed droplets of water in the emulsion, but also

destroy the surrounding films and promote coalescence. Demulsifiers are usually divided into two groups: ionogenic (forming ions in aqueous solutions) and non-ionic (not forming ions in aqueous solutions).

Ionogenic, in turn, can be subdivided into anionic and cationic, depending on which surface-active groups they contain anions or cations.

At the deposits and oil refineries from ionic demulsifiers for dehydration and demineralization of oils for a long time neutralized black contact (NBC) was used. However, it has a number of drawbacks: low content of surfactant (in the best grades about 40-60% of salts of sulfonic acids), which leads to costly ballast shipments; high specific consumption (0,5-3 kg / t, sometimes more); when the NBC interacts with the formation water, solid precipitates (gypsum, iron hydroxide, etc.) can be formed, and the removal of these apparatuses and pipelines is associated with considerable costs. Ionogenic demulsifiers also contribute to the formation of oil-in-water emulsions, which results in a significant oil content in the drainage water. In connection with this, currently inefficient demulsifiers: NBC (neutralized black contact) and NAT (neutralized acid tar), which are currently not used for demulsification of oil.

Cationic demulsifiers did not find sufficient application because of their low activity.

The most widespread at the present time are nonionic demulsifiers, i.e. those that do not dissociate into ions in aqueous solutions. Usually demulsifiers of this type are obtained by the addition of ethylene oxide or propylene oxide to organic substances with a mobile hydrogen atom. The starting materials for this synthesis are organic acids, alcohols, phenols, etc., as well as ethylene oxide and propylene oxide.

By varying the number of ethylene oxide or propylene oxide molecules attached, i.e., the length of the polyoxyethylene or polyoxypropylene chain, it is possible to control the demulsibility of non-ionic demulsifiers. With the elongation of the oxyethylene or oxypropylene chain, the solubility of the

surfactant in the water increases due to the increase in the hydrophilic (water-soluble) part of the molecule.

The most important at present is the problem of selecting demulsifiers in such a way that the choice would not only correspond to the individual characteristics of a particular type of oil, since it will differ depending on the deposit, but it was also economically profitable. Also, the demulsifier should not have a negative effect on oil, which reduces the qualitative characteristics of oil treatment. In addition, the oil treatment unit may have a significant impact, since the features of each particular installation are different.

The choice of the most effective demulsifier and evaluation of its suitability for commercial oil preparation are carried out on the basis of laboratory and pilot-industrial studies.

The demulsifier must be a homogeneous liquid without suspended or settling particles. The pour point must correspond to the climatic conditions of the oil region, characterized by absolute minimum air temperatures.

For satisfactory operation of pumps of type ND (dosing) in the conditions of their operation, the viscosity of the reacted reagent must not be higher than the one indicated in the pump's rating characteristics.

The demulsifier should not cause corrosion of pipes and equipment.

When preparing the product oil, high-efficiency slop units are used that combine the processes of oil gas separation and oil dehydration.

The method of destruction of oil emulsions was the most widely used thermochemical preparation of oil.

The thermochemical plant consists of separators-demulsifiers, sedimentation tanks-electric dehydrators and other equipment. It is established that the existing method of demulsifying oil without the use of heat and surfactants is ineffective. Therefore, currently about 80% of all produced water-cut oil is processed in thermochemical plants, the advantages of which are: the extreme simplicity of installation (heat exchanger, sedimentation tank and pump), comparatively low sensitivity of the plant operation regime to a significant

change in water content in oil, the possibility of replacing demulsifiers by as the emulsion characteristics change without replacing equipment and apparatus.

There are thermochemical plants for demulsifying oil, operating at atmospheric pressure and installations operating under excessive pressure.

The object of the study is the oil of the Katylginskoye field, which, due to the transition to the late stage of development, has a water cut to 70-80%.

The relevance of this study is expressed in the qualitative preparation and deep dehydration of commercial oil in order to reduce economic costs and facilitate subsequent processing.

The purpose of this paper is to evaluate the effectiveness of the demulsifier for the separation of water-oil emulsion.

As a demulsifier, the Unidem ES-304 reagent was used by LLC OPU-30, Almet'yevsk, which is a homogeneous, colorless liquid.

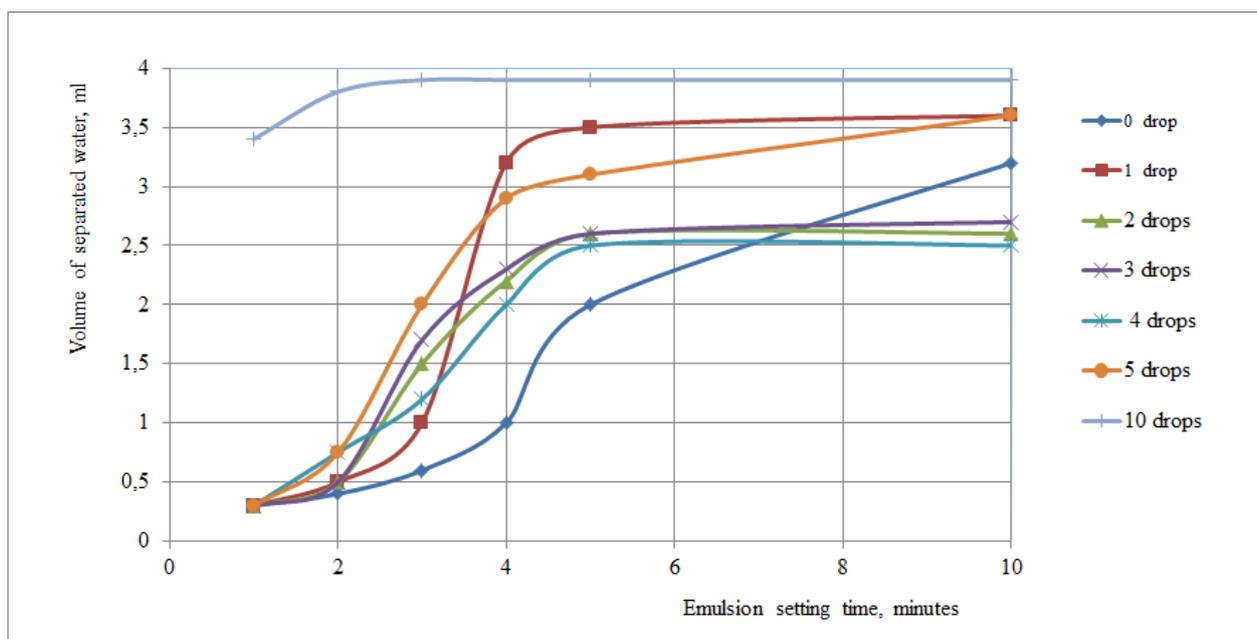
In the course of the work, a 1% demulsifier solution was prepared in octane; stirring of the settled water-oil emulsion in a homogenizer of type MPW 324 for 15 minutes at a speed of 3000 rpm; dosing of the reagent into samples at a certain concentration; Observation of the course of separation of emulsions with fixation of intermediate results. The sedimentation of the emulsion was carried out at room temperature in 10 ml cylinders. At the same time, the amount of separated water in the graduated cylinders, the thickness of the emulsion layer, the presence or absence of intermediate layers (the so-called "puff cake") were measured at regular intervals to track the dynamics of the emulsion stratification.

The results obtained are presented in the table.

Table - Time of sedimentation of water-oil emulsion from concentration of demulsifier

| Time since settling, minutes | Water level in cylinder, ml |     |     |     |      |      |     |
|------------------------------|-----------------------------|-----|-----|-----|------|------|-----|
|                              | Number of drops             |     |     |     |      |      |     |
|                              | 0                           | 1   | 2   | 3   | 4    | 5    | 10  |
| 1                            | 0,3                         | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,3  | 0,3  | 3,4 |
| 2                            | 0,4                         | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,75 | 0,75 | 3,9 |
| 3                            | 0,4                         | 1   | 1,9 | 1,9 | 1,2  | 2    | 3,9 |
| 4                            | 1                           | 3,5 | 2,2 | 2,3 | 2    | 2,9  | 3,9 |
| 5                            | 2                           | 3,5 | 2,6 | 2,6 | 2,5  | 3,1  | 3,9 |
| 6                            | 2                           | 3,5 | 2,6 | 2,6 | 2,5  | 3,1  | 3,9 |
| 7                            | 2                           | 3,5 | 2,6 | 2,6 | 2,5  | 3,1  | 3,9 |
| 8                            | 2                           | 3,5 | 2,6 | 2,6 | 2,5  | 3,1  | 3,9 |
| 9                            | 2                           | 3,5 | 2,6 | 2,6 | 2,5  | 3,1  | 3,9 |
| 10                           | 3,2                         | 3,6 | 2,6 | 2,7 | 2,5  | 3,6  | 3,9 |

Based on the tabulated data, a plot of the volume of separated water versus the settling time of the emulsion was constructed for different concentrations of the Unidem ES-304 reagent (graph).



Drawing. Dependence of the volume of separated water from the settling time of the emulsion

The analysis of the obtained curves showed that with the addition of 1 drop of demulsifier an effective stratification of the emulsion is observed. So, after 4 minutes the volume of the separated water was 3.2 ml, while in the blank sample the volume of water was only 1 ml.

With a further increase in the concentration of Unidem ES-304, the faster emulsion stratification is observed during the first 3 minutes, but further the separation rate decreases and the settling time of the emulsion increases. This is explained by the fact that bimolecular adsorption layers from demulsifier molecules are formed on water droplets, which practically do not have appreciable structural and mechanical properties. While a monomolecular reagent layer contributes to the rapid coalescence of water droplets when they collide with each other.

When 10 drops of demulsifier are added to the initial emulsion within 2 minutes, a complete separation of water from oil in the volume of 3.9 ml takes place, but at the same time the consumption of the reagent increases, the cost of which is quite high considering the volumes of processed oil.

As a result of the research done, the following conclusions can be drawn:

1. The results obtained showed high efficiency of Unidem ES-304 application without the formation of intermediate layers at the interface;
2. When the demulsifier is added in an amount of 19 g / t of oil after 5 minutes, a complete stratification of the water and oil phases is observed as compared to a blank sample in which the phase boundary appears after 30 minutes.