

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

---

Инженерная школа природных ресурсов  
Направление подготовки: 15.03.02 «Технологические машины и оборудования»  
Профиль подготовки: «Машины и оборудование нефтяных и газовых промыслов»  
Отделение нефтегазового дела

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

Тема работы
Определение прочностных характеристик резервуара для хранения сжиженного природного газа

УДК: 622.691.23:624.042.62

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-4E41	Курбанов Улугбек Айбекович		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Манабаев К.К.	к.ф. - м.н.		

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОСГН ШБИП ТПУ	Трубникова Н.В.	Доцент, д.и.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Черемискина М.С.			

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
«Машины и оборудование нефтяных и газовых промыслов»	Манабаев К.К.	Доцент, к.ф. - м.н.		

Запланированные результаты обучения по ООП

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон
<b>Профессиональные компетенции</b>		
P1	Применять глубокие естественнонаучные, математические и инженерные знания для разработки оборудования нефтяных и газовых промыслов.	Требования ФГОС (ПК-19, ПК-20, ПК-23), Критерий 5 АИОР (п. 5.2.1; п. 5.2.4), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P2	Применять глубокие знания в области современных технологий нефтегазового производства для решения междисциплинарных инженерных задач.	Требования ФГОС (ПК-16, ОК-8), Критерий 5 АИОР (п. 5.2.1; п. 5.2.2, п. 5.2.8), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P3	Ставить и решать инновационные задачи инженерного анализа, связанные с разработкой и эксплуатацией нефтегазопромыслового оборудования, с использованием системного анализа и моделирования объектов и процессов нефтегазового производства.	Требования ФГОС (ПК-1, ПК-3; ПК-10; ОК-2, ОК -6), Критерий 5 АИОР (п. 5.2.2; п. 5.2.4), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P4	Разрабатывать технологические процессы, проектировать и использовать новое оборудование нефтяных и газовых промыслов, конкурентоспособных на мировом рынке машиностроительного производства.	Требования ФГОС (ПК-5, ПК-6; ПК-9);
P5	Проводить теоретические и экспериментальные исследования в области современных технологий нефтегазового производства.	ПК -23, ПК-26), Критерий 5 АИОР (п. 5.2.3; п. 5.2.8), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P6	Внедрять, эксплуатировать и обслуживать нефтегазопромысловое оборудование, обеспечивать его	Требования ФГОС (ПК-19; ПК-20; ПК-21, ПК-24, ОК-6; ОК-7), Критерий 5 АИОР (п. 5.2.4; п. 5.2.6; п. 5.2.7),

	высокую эффективность работы, соблюдать правила охраны здоровья и безопасности труда на нефтегазовом производстве, выполнять требования по защите окружающей среды.	согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
<b>Универсальные компетенции</b>		
P7	Использовать глубокие знания по проектному менеджменту для ведения инновационной инженерной деятельности с учетом юридических аспектов защиты интеллектуальной собственности.	Требования ФГОС (ПК-9, ПК-10, ПК-11, ПК-12, ПК-13), Критерий 5 АИОР (п. 5.2.1; п. 5.2.12), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P8	Активно владеть иностранным языком на уровне, позволяющем работать в иноязычной среде, разрабатывать документацию, презентовать и защищать результаты инновационной инженерной деятельности.	Требования ФГОС (ОК-9; ПК-7, ПК-25), Критерий 5 АИОР (п. 5.2.2; п. 5.2.13), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P9	Эффективно работать индивидуально, в качестве члена и руководителя группы, состоящей из специалистов различных направлений и квалификаций, демонстрировать ответственность за результаты работы и готовность следовать корпоративной культуре организации.	Требования ФГОС (ОК-5; ОК-Ю; ПК-6, ПК-17, ПК-18), Критерий 5 АИОР (п. 5.2.11), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P10	Демонстрировать глубокие знания социальных, этических и культурных аспектов инновационной инженерной деятельности, компетентность в вопросах устойчивого развития.	Требования ФГОС (ПК-22, ОК-7), Критерий 5 АИОР (п. 5.2.4, п. 5.2.5; п. 5.2.12), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P11	Самостоятельно учиться и непрерывно повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности.	Требования ФГОС (ОК-1, ОК-5), Критерий 5 АИОР (п. 5.2.6; п. 5.2.15), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI

**Министерство образования и науки Российской Федерации**

федеральное государственное автономное образовательное учреждение

высшего образования

**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Инженерная школа природных ресурсов

Направление подготовки: 15.03.02 «Технологические машины и оборудования»

Профиль подготовки: «Машины и оборудование нефтяных и газовых промыслов»

УТВЕРЖДАЮ:

Руководитель ООП

(Подпись) (Дата)

Манабаев.К.К

(Ф.И.О.)

**ЗАДАНИЕ**

**на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

Бакалаврской работы
---------------------

Студенту:

Группа	ФИО
3-4Е41	Курбанову Улугбеку Айбековичу

Тема работы:

Определение прочностных характеристик резервуара для хранения сжиженного природного газа	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	№1007/с от 08.02.2019

Срок сдачи студентом выполненной работы:

--

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<b>Исходные данные к работе</b>	Исследуемый объект: Резервуар для хранения СПГ емкостью 61,91 м <sup>3</sup> . Объект является сооружением повышенной опасности и эксплуатируется в особых условиях. Режим работы: круглосуточный, периодический.
---------------------------------	---

<p><b>Перечень вопросов подлежащих исследованию, проектированию и разработке</b></p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Обзор литературных источников</li> <li>2. Изучение имеющейся проблемы</li> <li>3. Анализ прочностных характеристик резервуара горизонтального для хранения СПГ объемом 61,91 м<sup>3</sup></li> <li>4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</li> <li>5. Социальная ответственность</li> </ol>
--	--

<p><b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b> <i>(с указанием разделов)</i></p>	
<p>Раздел</p>	<p>Консультант</p>
<p>Финансовый менеджмент</p>	<p>Трубникова Н.В.</p>
<p>Социальная ответственность</p>	<p>Черемискина М.С.</p>

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

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
<p>Доцент</p>	<p>Манабаев К.К.</p>	<p>к.ф.-м.н.</p>		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
<p>3-4E41</p>	<p>Курбанов Улугбек Айбекович</p>		

**Министерство образования и науки Российской Федерации**

федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования

**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Инженерная школа природных ресурсов

Направление подготовки: 15.03.02 «Технологические машины и оборудования»

Уровень образования: Бакалавриат

Профиль подготовки: «Машины и оборудование нефтяных и газовых промыслов»

Период выполнения: Весенний семестр 2019 учебного года

Форма представления работы:

Бакалаврская работа
---------------------

**КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН  
выполнения выпускной квалификационной работы**

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
11.05.2019	Основная часть	60
13.05.2019	Социальная ответственность	20
25.05.2019	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	20

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Манабаев К.К.	к.ф.-м.н.		

**СОГЛАСОВАНО:**

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
«Машины и оборудование нефтяных и газовых промыслов»	Манабаев К.К.	к.ф.-м.н.		

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа состоит из 100 страниц, 16 рисунков, 29 таблиц, 92 формул и 25 литературных источников.

Ключевые слова: резервуар, прочность, сжиженный природный газ, усилие, давление.

Объектом исследования является: горизонтальный резервуар для хранения сжиженного природного газа, ёмкостью  $61,91 \text{ м}^3$

Цель работы – решение задачи по определению прочностных характеристик горизонтального резервуара ёмкостью  $61,91 \text{ м}^3$  в условиях испытания, с использованием расчетов, приведенный в нормативных документах для обеспечения безопасного эксплуатации. Учтены особенности конструкции.

Область применения: газовая промышленность.

## **Определения, обозначения и сокращения**

Резервуары – это инженерные конструкции, которые служат для хранения, приемки и учета нефтепродуктов и нефти.

СПГ – сжиженный природный газ

НДС – напряженно – деформированное состояние

ИР – изотермические резервуары

ГОСТ – государственный стандарт

ВУПП– Ведомственные указания по проектированию предприятий

СТО – стандарт организации

ВСН – ведомственная норма

РД – руководящий документ

СТУ - специальные технические условия

API - American Petroleum Institute

СКМТС - системы комплексного мониторинга технического состояния

РП – резервуарный парк

ТЗ – техническое задание

ППР – проект производства работ

## Оглавление

Введение.....	11
Литературный обзор.....	13
1. Общая часть.....	15
1.1. История развития производство и хранения сжиженного природного газа .....	15
1.2. Технология производства сжиженного природного газа.....	16
1.3. Современные конструктивно-технологические схемы хранения сжиженных природных газов.....	19
2. Расчетная аналитическая часть.....	23
2.1. Определение рабочего и расчетного давления.....	25
2.2. Расчет на прочность резервуара и его элементов.....	28
2.2.1. Гладкая обечайка, нагруженная внутренним избыточным давлением..	28
2.2.2. Расчет эллиптического днища.....	32
2.2.3. Расчет штуцера расположенный на днище.....	33
2.2.4. Расчет штуцера расположенный на цилиндрической обечайке.....	37
2.2.5. Опора седловая.....	44
2.3. Расчёт в условиях испытаний (Гидроиспытания).....	49
3. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение..	53
3.1. Потенциальные потребители результатов исследования.....	53
3.2. Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.....	54
3.3. SWOT – анализ.....	56
3.4. Технология QuaD.....	59
3.5. Определение возможных альтернатив проведения научных исследований.....	61
3.6. Планирование научно-исследовательских работ.....	62
3.7. Бюджет научно-технического исследования.....	67
3.8. Определение ресурсоэффективности проекта.....	75

4. Социальная ответственность.....	84
4.1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности .....	84
4.2. Анализ опасных производственных факторов.....	87
4.3. Анализ опасных и вредных производственных факторов .....	87
4.4. Экологическая безопасность.....	92
4.5. Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	94
Заключение.....	97
Список использованных источников.....	98

## **Введение**

Газ – ценное промышленное сырье. Он играет важную роль в потреблении, наряду с нефтью и углем.

Настоящее время запасы природного газа достаточно велики и это дает ему титул топлива XXI века. Наблюдается тенденции роста сжиженного природного газа (СПГ). Каждый год растет его динамика потребления. Например, настоящее время составляет 7% в год и ожидается, что к 2020 г. достигнет 14%. Наблюдается рост международной торговли сжиженным природным газом (СПГ), около 24% мировых внешнеторговых поставок природного газа.

СПГ является криогенным жидкостью с содержанием метана 0,86 доля всего объема (ТУ 05-03-03-85). Температура кипения составляет -162 °С.

У СПГ следующие преимущества по сравнению с другими топливами:

- экологически чистая топливо;
- высокая энергоемкость и большое октановое число;
- возможно газифицировать удаленные объекты, которые технически затруднена или экономически дорого прокладка трубопроводов;
- в сжиженном виде 600 раз меньше по объему, что упрощает транспортировку и хранение;
- в своей жидкой форме не взрывается и не воспламеняется.

СПГ хранится и транспортируется в специальных изотермических резервуарах. Резервуары для СПГ являются пожаровзрывоопасным. Повреждение их и истечение продукта в атмосферу может привести к катастрофическим последствиям.

### *Актуальность*

Определения прочностных характеристик при конструировании изотермических резервуаров для хранения сжиженного природного газа всегда является актуальной темой для обеспечения безопасного эксплуатирования в рабочих условиях.

**Целью** выпускной квалификационной работы является: определения прочностных характеристик и расчет нагрузок горизонтального изотермического резервуара для хранения СПГ в условиях испытания, обеспечение безопасности резервуаров, на выборе конструкторских и технологических решений, способных покрыть воздействие отрицательных эксплуатационных факторов и снизить социальные, материальные и экологические ущербы.

## Литературный обзор

Ознакомление с нормативными документациями.

Общие характеристики СПГ и используемые материалы в индустрии приведены в ГОСТ Р 57431-2017 «Газ природный сжиженный. Общие характеристики».

ГОСТ Р 56352-2015 «Нефтяная и газовая промышленность. Производство, хранение и перекачка сжиженного природного газа», является современным нормативным документом Российской Федерации, которое устанавливает требования безопасности при производстве, хранении и перекачке СПГ.

Для проведения расчета поля напряжений, деформаций и перемещений, характерные материалу конструкции существует ГОСТ Р 52857.1-2007 «Сосуды и аппараты. Методы расчета на прочность», которой, я проводил свои расчеты в выпускном квалификационном работе (ВКР).

В документе ВНТП 51-1-88 «Ведомственные нормы на проектирования установок по производству и хранению сжиженного природного газа, изотермических хранилищ и газозаправочных станций» даны расчеты для проектирования резервуаров вместимостью до 60000 м<sup>3</sup>. В данном документе не приставлены расчеты, для резервуаров закрытого типа с полной герметизацией.

Ознакомление научной литературы.

Среди отечественной научной литературы существует много книг, диссертации и научные доклады, посвященные на тему СПГ.

В работах И.А. Болодьяна приведены проблема по исследованию конструктивных особенностей резервуаров и оценки опасностей изотермического хранения.

В книге «Современные состояние и развитие мировой индустрии сжиженного природного газа. Технологии и оборудование» Фёдорова Е.Б., произведен анализ экстенсивного и интенсивного развития производства.

Приведен термодинамические основы сжижения природного газа и дано технологические описание оборудования.

В книге «Сжиженные углеводородные газы» Рачевский Б.С. отражено мировое развитие сжиженного природного газа и приведены все способы транспортировки хранения методами расчета систем хранения, перемещения и распределения.

Диссертации В.И. Макеева посвящена проблеме пожарной безопасности объектов СПГ.

## **1. Общая часть**

### **1.1. История развития производство и хранения сжиженного природного газа**

Первые эксперименты по сжижению природного газа проводил известный британский химик Майкл Фарадей. Спустя несколько лет немецкий ученый по имени Карл Вон Линде создал пилотную компрессорную холодильную машину. Затем в первом десятилетия 20-века в США была построена первая опытная установка по сжижению газа. Во втором половине 30-годов началось, разработки конструкции низкотемпературных хранилищ СПГ и пилотный проект был, реализован в 1939 году в штате Виргиния вместимостью 54,88 м<sup>3</sup>. На нем газ хранился в течение четырех месяцев. В 1941 году другом городе США, в Кливленде (штат Огайо) американцы построили первый завод по производстве СПГ с четырьмя большими резервуарами общей емкостью приблизительно 15000 м<sup>3</sup>. В 1954 году в Советском Союзе советские трудовики построили первый завод СПГ с двумя низкотемпературными хранилищами.

В Алжире 1964 году после нахождения крупного месторождения природного газа построили первый в мире крупнотоннажный завод СПГ. Покупателем продукта стал, Великобритания и подписали контракт на поставку сжиженного газа.[1]

В США и СССР параллельно разрабатывались проекты создания льдогрунтовых хранилищ для СПГ.

Построением резервуаров СПГ занимаются многие известные компании по всему миру. В Российской Федерации нефтегазовыми компаниями построены много резервуаров для хранения сжиженных газов, которое можно назвать современной и высокотехнологичными.

Особенно сегодня построение резервуаров мембранной конструкции (рис.1) становится актуальным. После создания таких резервуаров увеличилось объемы емкостей для хранения сжиженных газов. Данное время резервуары такого типа построены во многих проектах, такие как Сахалин-2,

Ямал СПГ и многих новых проектах по всему миру. Объем их доходит до 200 тыс. м<sup>3</sup>. [2]



Рисунок 1 – Изотермический резервуар с мембранной конструкции

## 1.2. Технология производства сжиженного природного газа

Сжижение природного газа сложный процесс. Прежде всего газ должен очищаться от вредных веществ. Удаляются все лишние примеси (диоксид углерода и остатки соединений серы и извлекается вода). Вода является опасным для процесса. Она может превратиться в ледяные кристаллы и повредить установку.

Процесс удаления вредных примесей происходит на молекулярных ситах для глубокой очистки газа с использованием адсорбционного способа.

После удаления вредных веществ, останется чистый природный газ. Затем, начинается сжижения природного газа. Процесс называется искусственным и включает в себя несколько этапного процесса. Охлаждения происходит под высоким давлением в серии теплообменников. В каждом



помещается в такие же изотермические резервуары для хранения и регазифицируют перед использованием.



Рисунок 3-Танкеры для транспортировки СПГ

После регазификации природный газ используется так же, как в бытовых условиях.

Технология сжижения газа, его транспортировки и хранения уже вполне освоена в мире и довольно стремительно развивающаяся отрасль в мировой энергетике.[3]

### **1.3. Современные конструктивно-технологические схемы хранения сжиженных природных газов**

В современной практике использования сжиженных газов существуют различные конструктивно-технологические схемы хранения:

-хранения под давлением и при температуре не выше плюс 50°С хранения в горизонтальных или шаровых резервуарах;

-хранения возможен при пониженном давлении, с использованием подземных, надземных и передвижных резервуаров. В некоторых случаях используются искусственно создаваемые пустоты под землей. изотермический способ хранения, сущность которого заключается в том, что

природный газ сжижается и в таком состоянии хранится при небольшом избыточном давлении (до 29 кПа) и температуре, близкой к температуре насыщения при данном давлении [3].

Ниже приведены несколько видов хранения сжиженного газа.

Шаровые резервуары (рис.4) для хранения сжиженного газа конструируются двустенные и предназначены для хранения сжиженных газов при обычном давлении в низких температурах. Резервуары состоят из двух концентрических сферических оболочек, отличающихся диаметром в пределах 2 м. Внутренняя оболочка является емкостью для хранения продуктов и изготавливается из легированных сталей, а внешняя оболочка обеспечивает защиту изоляции и создает требуемое незначительное избыточное давление в изолирующем пространстве.



Рисунок 4 – Шаровые резервуары для хранения СГ

Изотермический способ хранения СПГ конструируется при использовании подземных (рис. 5) и надземных (рис. 6) изотермических

резервуарах и имеют высокая безопасность при эксплуатации.

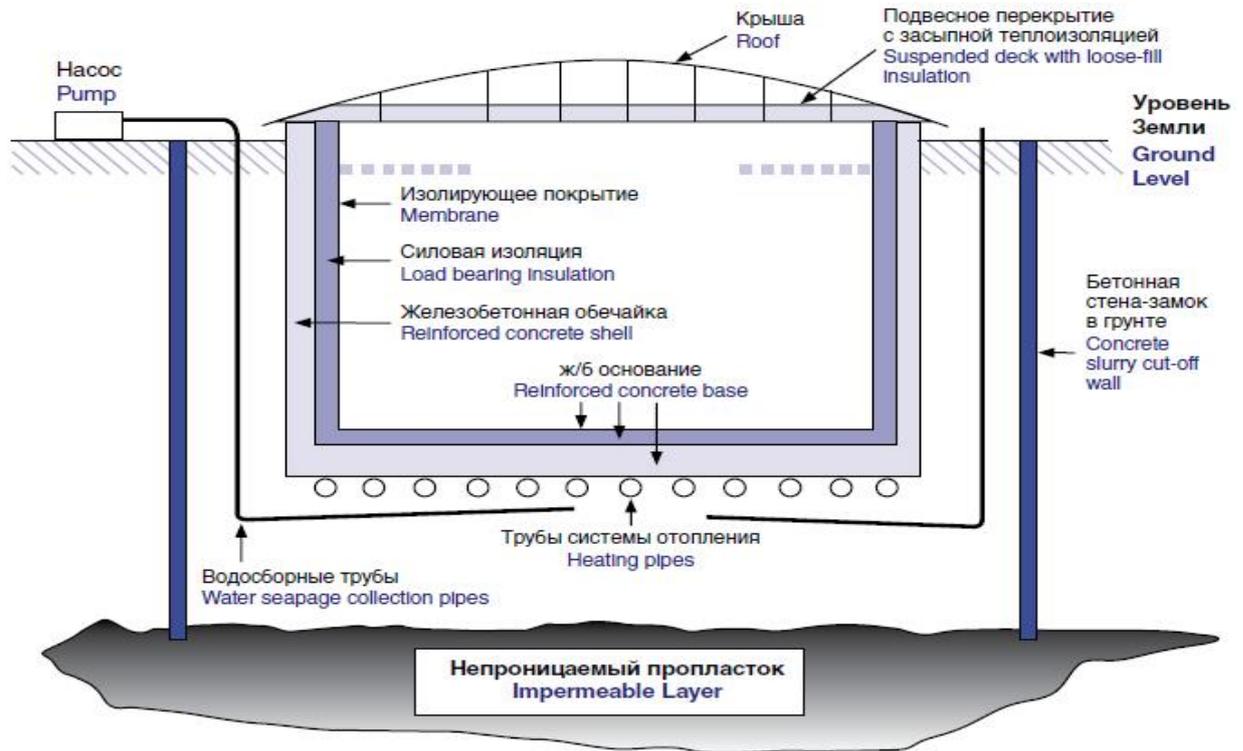


Рисунок 5 - Схематическое изображение конструкции типового подземного резервуара хранения СПГ

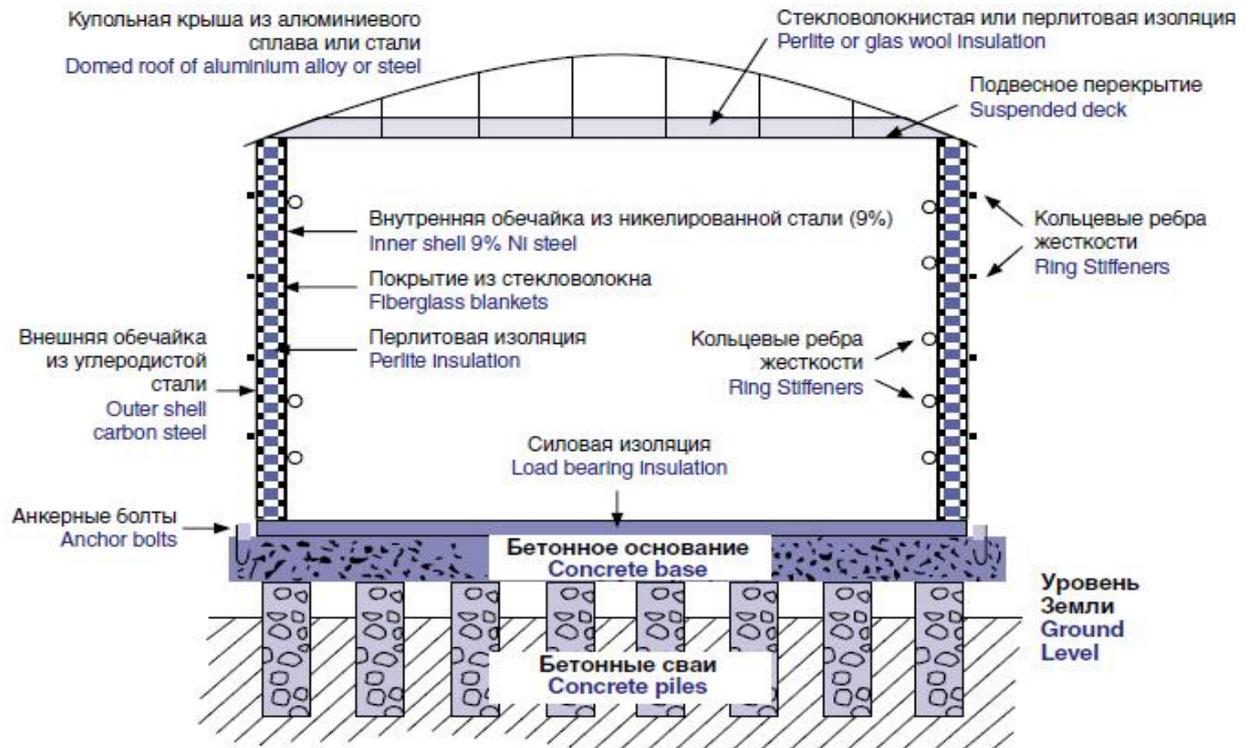


Рисунок 6 - Схематическое изображение конструкции типового надземного резервуара хранения СПГ

Хранения в этих резервуарах признаны соответствующими европейскому стандарту EN 1473.

Надземные резервуары для хранения выполняются с двойными стенками: внешняя стенка для задержки паров газа и меж стенным пространством для содержания криогенную жидкость.

Внутренняя полость резервуара выполняются из металлов или сплавов (например, девятипроцентным содержанием никеля или алюминий) с низким коэффициентом теплового расширения. Эти материалы не охрупчиваются при соприкосновении с криогенными текучими средами. Вокруг резервуаров устраиваются сооружения, рассчитанные на прием утечек при возможных разрушениях резервуара соответствующего 110% от объема резервуара [4].

При реализации проектов СПГ температура эксплуатации и строительство, принимается равной минимальной средней температуре самого холодного месяца. Например, для проекта «Ямал СПГ» планируемых к возведению расчетная температура эксплуатации наружного корпуса принимается минус 45°C.

Анализ аварий резервуаров, которое эксплуатировались при отрицательных температурах, показало, что новые металлоконструкции останавливают трещину. [5]

При определении прочностных характеристик резервуара существует нормативные документы, которые использованы при расчетах этой работы.

Расчеты проводится для безопасного эксплуатирования при рабочих условиях.

Для проведения работ мы выбрали резервуар горизонтальный стальной с объемом 61,91 куб. м. Такие резервуары состоят из внутреннего и внешнего сосуда, обвязки запорной, регулирующей и предохранительной арматуры. Внутренний сосуд, который используется для хранения криогенных сжиженных газов, изготавливается из легированной нержавеющей стали. Внешний сосуд изготовлен из углеродистой стали и изоляции разного вида. Резервуары оснащены приборами контроля с возможностью вывода сигнала.

Тщательно подобранные компоненты и качественная сборка обеспечивают высокую степень надежности, экономичности в повседневном использовании и гарантируют долговечность резервуаров.

## 2. Расчетная аналитическая часть

Расчеты проводим по ГОСТ Р 52857.3-2007 «Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность». В настоящем документе приведены нормы и методы расчета ИР для хранения и транспортирования низкотемпературного СПГ под давлением. Методы и нормы расчета применимы для горизонтальных изотермических резервуаров.[6]

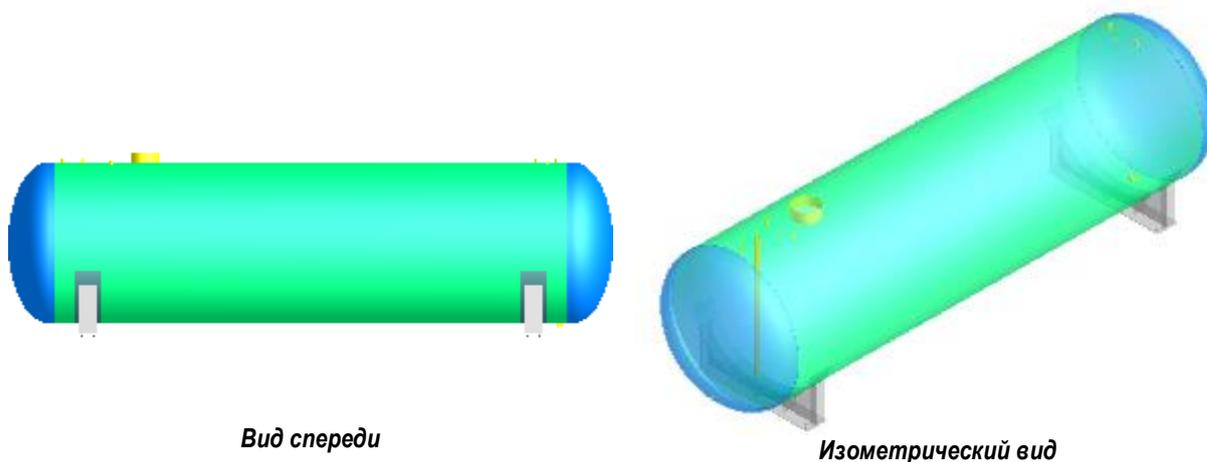


Рисунок 7 - Общий вид аппарата

### Исходные данные для расчета

Таблица 1 – Исходные данные

Рабочая среда	Сжиженный природный газ
Коэффициент заполнения аппарата	0,80
Вид испытаний	Гидроиспытания
Вместимость резервуара	61,91 м <sup>3</sup>
Максимальное допустимое рабочее давление	0,6 МПа
Суммарная прибавка к толщине штуцера	0,001м
Суммарная прибавка к толщине обечайки и днища	0,0018
Коэффициент прочности сварного шва на все элементы резервуара	1

## Основные элементы

Таблица 2 – Данные элементов резервуара

Элемент	Диаметр, м	Толщина стенки, м	Длина (высота), м
Днище эллиптическое №1, №2	2,8	0,022	0,802
Обечайка цилиндрическая №1	2,8	0,018	9
Штуцер №11 (Б)	0,012	0,003	0,065
Штуцер №1 (Г)	0,049	0,004	0,065
Штуцер №2 (А)	0,079	0,005	0,065
Штуцер №3 (Р1)	0,049	0,004	0,065
Штуцер №4 (Р2)	0,049	0,004	0,065
Штуцер №5 (Л)	0,5	0,008	0,16
Штуцер №6 (М)	0,026	0,003	0,065
Штуцер №7 (Е)	0,049	0,004	0,065
Штуцер №8 (Ж)	0,049	0,004	0,065
Штуцер №9 (Д)	0,012	0,003	0,065
Штуцер №10 (В)	0,098	0,005	0,065
Штуцер №12 (Т)	0,026	0,003	0,065

Таблица 3 - Опорные нагрузки

№ опоры	Название опоры	Опорное усилие, F, Н	Поперечное усилие в сечении оболочки над опорой, Q, Н	Изгибающий момент в сечении оболочки над опорой, M, Н м
1	Опора седловая №1	$3,753 \cdot 10^5$	$2,825 \cdot 10^5$	$1,556 \cdot 10^5$
2	Опора седловая №2	$3,757 \cdot 10^5$	$2,828 \cdot 10^5$	$1,554 \cdot 10^5$

При рабочей температуре среды ниже 20°C за расчетную температуру при определении допусаемых напряжений принимаем температуру 20°C, согласно ГОСТ Р 52857.1-2007.

Таблица 4 - Вес элементов аппарата:

Номер элемента, i	Название элемента	Вес элемента*, G <sub>i</sub> , Н
1	Днище эллиптическое №2	4,94·10 <sup>4</sup>
2	Штуцер №11 (Б)	0,9331
3	Обечайка цилиндрическая №1	6,517·10 <sup>5</sup>
4	Штуцер №1 (Г)	5,066
5	Штуцер №2 (А)	273,9
6	Штуцер №3 (Р1)	5,175
7	Штуцер №4 (Р2)	5,177
8	Штуцер №5 (Л)	476
9	Штуцер №6 (М)	1,924
10	Штуцер №7 (Е)	5,178
11	Штуцер №8 (Ж)	5,177
12	Штуцер №9 (Д)	0,8927
13	Штуцер №10 (В)	14,22
16	Днище эллиптическое №1	4,916·10 <sup>4</sup>
17	Штуцер №12 (Т)	2,135

Включая вес продукта при его наличии

Общий вес:

$$\sum G_i = 7,51 \cdot 10^5 \text{ Н}$$

## 2.1. Определение рабочего и расчетного давления

Определим гидростатическое давление:

$$P_{\text{гидр}} = \rho_{\text{ж}} \cdot H \cdot g \cdot 10^{-6} = 422 \cdot 9 \cdot 10^{-6} \cdot 9,8 = 0,03722 \text{ МПа} \quad (1)$$

где  $\rho_{\text{ж}} = 422 \text{ кг/м}^3$  плотность жидкого природного газа по ГОСТ Р 57431-2017 (табл.5), высота столба сжиженного природного газа  $H_{\text{ж}}$  при максимальном заполнении сосуда. Горизонтальных резервуаров принимаем длину обечайки.

Таблица 5 - Свойства сжиженного природного газа

№	Свойства при температуре кипения при нормальном давлении	СПГ 1
1	Молярная доля	%
2	N <sub>2</sub>	0,13
3	CH <sub>4</sub>	99,8
4	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	0,07
5	Молекулярная масса, кг/моль	16,07
6	Температура кипения, °С	- 161,9
7	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	422

Если на элемент сосуда или аппарата действует гидростатическое давление, составляющее 5% и выше рабочего, то расчетное давление для этого элемента должно быть повышено на это же значение по ГОСТ 14249-89.

Находим отношение:

$$\frac{P_{\text{ГИДР}}}{P_{\text{МАХ}}} \cdot 100 = \frac{0,03722}{0,6} = 6,2033 \% > 5\%.$$

Принимаем:

$$P_p = P + P_{\text{ГИДР}} + P_{\text{ДИН}} = 0,6 + 0,03722 + 0,004245 = 0,6414 \text{ МПа} \quad (2)$$

где давление на днище ( $P_{\text{ДИН}}$ ) внутреннего сосуда в результате действия динамических нагрузок (гидравлического удара) определяем по формуле:

$$P_{\text{ДИН}} = \frac{4 \cdot K''_D \cdot G_{\text{Ж}}}{\pi \cdot D^2} \cdot 10^{-6} = \frac{4 \cdot 1,0 \cdot 26126,02}{3,14 \cdot 2,8^2} \cdot 10^{-6} = 0,004245 \text{ МПа} \quad (3)$$

где коэффициент динамической нагрузки ( $K''_D$ ) на резервуар в продольном направлении принимаем по таблице 4, вес сжиженного природного газа в сосуде ( $G_{\text{Ж}}$ ) определяем по формуле,

$$G_{\text{Ж}} = v \cdot \rho = 61,91 \cdot 422 = 26126,02 \text{ кг}$$

где  $v$  - объем сосуда принимаемый 61,91 м<sup>3</sup>(табл.1),  $\rho_{\text{Ж}} = 422$  кг/м<sup>3</sup> плотность жидкого природного газа по ГОСТ Р 57431-2017 (табл.2).

Таблица 6 - Значения динамических коэффициентов

№	Вид транспортного средства	В вертикальном направлении $K'_d$	В продольном направлении $K''_d$
1	Автомобильный	2,0	1,0
2	Железнодорожный	$K_1 + K_2 \cdot \frac{0,00079(\nu - 15,3)}{f_{cm}}$	$\frac{250000}{G_{\text{брутто}}}$

Для сооружения емкостей из хранилищ СПГ применяться стали, строго соответствующие условиям работы резервуара[7]. К расчету принимаем сталь 12X18H10T (ГОСТ 7350-77). Сталь конструкционная криогенная работающие под давлением при температуре от -196 до +600 °С.

Нормативная допускаемая напряжения для стали 08X12H10T при  $t=20^\circ\text{C}$  :

$$\sigma_{20} = 150 \text{ МПа},$$

$$[\sigma_{20}] = \sigma_{20} \cdot \eta = 150 \cdot 1 = 150 \text{ МПа}$$

где  $\eta$  - поправочный коэффициент, характеризующий степень опасности среды хранящейся в сосуде принимается равной  $\eta = 1,0$  по ГОСТ 14249-80.

Номинальное допускаемое напряжения при температуре 20 °С :

$$\sigma = 142 \text{ МПа}$$

$$[\sigma] = \sigma \cdot \eta = 142 \cdot 1 = 142 \text{ МПа}$$

Под пробным давлением в сосуде или аппарате следует понимать давление, при котором проводится испытание сосуда или аппарата.

$$P_{\text{исп}} = \max \left( 1,25 \cdot P_p \cdot \frac{[\sigma_{20}]}{[\sigma]}, P_p + 0,3 \right)$$

$$P_{\text{исп}} = \left( 1,25 \cdot 0,6414 \cdot \frac{150}{142}, 0,6414 + 0,3 \right) = 0,8469 \text{ МПа} \quad (4)$$

По ГОСТ Р 52857.1-2007 расчёт на прочность при испытаниях допускается не проводить, если выполнено условие:

$$P_{исп} < 1,35 \cdot P_p \cdot \frac{[\sigma_{20}]}{[\sigma]},$$

$$1,35 \cdot 0,6414 \cdot \frac{150}{142} = 0,9147 \text{ МПа} > 0,8469 \text{ МПа}$$

Допускаемые напряжения для материала 12X18H10T при температуре  $T = 20^\circ\text{C}$  (условия гидроиспытаний):

$$[\sigma]^{20} = \eta \cdot \frac{R_{p1.0}}{\eta_T} = 1 \cdot \frac{276}{1,1} = 250,9 \text{ МПа} \quad (5)$$

где  $\eta_T$  - коэффициент к допускаемым напряжениям по ГОСТ 14249-80,  $R_{p1.0}$  - расчетное значение предела текучести

## 2.2. Расчет на прочность резервуара и его элементов

### 2.2.1. Гладкая обечайка, нагруженная внутренним избыточным давлением

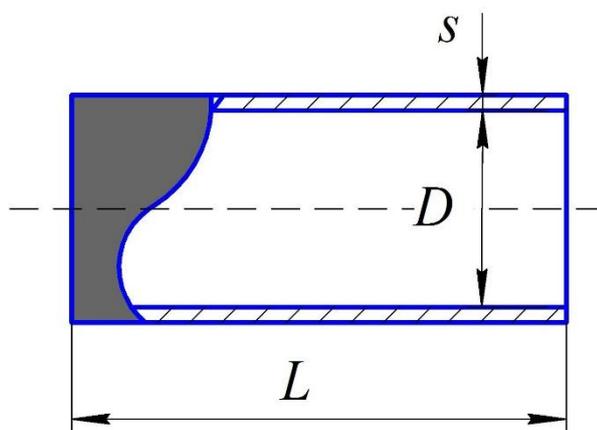


Рисунок 8 - Гладкая обечайка

Проводим расчет толщины стенки сосуда которое определяется по формуле:

$$S = \frac{P_p \cdot D}{2 \cdot \varphi [\sigma] - P_p} + C = \frac{0,8469 \cdot 2,8}{2 \cdot 1 \cdot 250,9 - 0,8469} + 0,0018 = 0,006533 \text{ м}$$

где  $[\sigma]$  допускаемого напряжения при испытании, величина прибавки на компенсацию коррозии ( $C$ ) определяется по формуле:

$$C = C_1 + C_2 = 0,001 + 0,0008 = 0,0018 \text{ м}$$

$$C_1 = \tau \cdot \Pi = 10 \cdot 0,0001 = 0,001 \text{ м}$$

где проницаемость стали в среде СПГ принимаем  $\Pi = 0,0001$  м/год, продолжительность работы резервуара  $\tau = 10$  лет и прибавка для компенсации минусового допуска  $C_2 = 0,0008$  (табл.1). К производству принята толщина оболочки  $S_T = 0,018$  м. Условие прочности выполнено.

Допускаемое давление к стене сосуда  $[P]_o$  считаем по формуле:

$$[P]_o = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi \cdot (s - C)}{D + (s - C)} = \frac{2 \cdot 250,9 \cdot 1 \cdot (0,018 - 0,0018)}{2,8 + (0,018 - 0,0018)} = 2,8865 \text{ МПа} \quad (8)$$

где значение  $\varphi$  коэффициент прочности сварного шва,  $D$  - диаметр сосуда,  $s$  - табличная толщина оболочки.

Давления допускаемое больше от расчетного  $2,8865 \text{ МПа} > 0,8469 \text{ МПа}$ . Условие прочности выполнено.

### ***Обечайка, нагруженная изгибающим моментом***

Допускаемое осевое сжимающее усилие из условия прочности  $[F]_{II}$  считаем по формуле:

$$[F]_{II} = \pi \cdot (D + S - C) \cdot (S - C) \cdot [\sigma]$$

$$[F]_{II} = 3,14 \cdot (2,8 + 0,018 - 0,0018) \cdot (0,018 - 0,0018) \cdot 250,9 = 3,596 \cdot 10^7 \text{ Н} \quad (9)$$

Допускаемый изгибающий момент из условия прочности со стороны сжатия  $[M]_{II}$  считаем по формуле:

$$[M]_{II} = \frac{D}{4} [F]_{II} = \frac{2,8}{4} \cdot 3,596 \cdot 10^7 = 2,5172 \cdot 10^7 \text{ Н м} \quad (10)$$

Допускаемое осевое сжимающее усилие из условия местной устойчивости  $[F]_{E1}$  считаем по формуле:

$$[F]_{E1} = \frac{31,0 \cdot 10^{-5} \cdot E}{n_y} \cdot D^2 \cdot \left[ \frac{100 \cdot (S_T - C)}{D} \right]^{25},$$

$$[F]_{E1} = \frac{310 \cdot 10^{-6} \cdot 2 \cdot 10^5}{1,8} \cdot 2,8^2 \cdot \left[ \frac{100 \cdot (0,018 - 0,0018)}{2,8} \right]^{25} = 5,157 \cdot 10^7 \text{ Н} \quad (11)$$

где ( $n_y$ ) коэффициент запаса устойчивости при расчете на устойчивость, по нижним критическим напряжениям в пределах упругости принимаем 1,8 по ГОСТ 14249-80,  $E$ - модуль продольной упругости равным  $2 \cdot 10^5$  МПа (табл.1)

Допускаемый изгибающий момент из условия устойчивости в пределах упругости  $[M]_E$  считаем по формуле:

$$[M]_E = \frac{D}{3,5} \cdot [F]_{E1} = \frac{2,8}{3,5} \cdot 5,157 \cdot 10^7 = 4,126 \cdot 10^7 \text{ Н}\cdot\text{м} \quad (12)$$

Допускаемый изгибающий момент  $[M]$  определяем по формуле:

$$[M] = \frac{[M]_{II}}{\sqrt{1 + \left( \frac{[M]_{II}}{[M]_E} \right)^2}} = \frac{2,5172 \cdot 10^7}{\sqrt{1 + \left( \frac{2,5172 \cdot 10^7}{4,126 \cdot 10^7} \right)^2}} = 2,1488 \cdot 10^7 \text{ Н}\cdot\text{м} \quad (13)$$

Допускаемый изгибающий момент больше табличного  $1,682 \cdot 10^7 \text{ Н}\cdot\text{м} \geq 3,956 \cdot 10^5 \text{ Н}\cdot\text{м}$ . Условие прочности и устойчивости выполнено.

### **Обечайка, нагруженная поперечным усилием**

Допускаемое поперечное усилие из условия прочности  $[Q]_{II}$  считаем по формуле:

$$[Q]_{II} = 0,25 \cdot \pi \cdot D \cdot (S - C) \cdot [\sigma],$$

$$[Q]_{II} = 0,25 \cdot 3,14 \cdot 2,8 \cdot (0,018 + 0,0018) \cdot 250,9 = 10,919 \cdot 10^6 \text{ Н} \quad (14)$$

Допускаемое поперечное усилие из условия устойчивости  $[Q]_E$  считаем по формуле:

$$[Q]_E = \frac{2,4 \cdot E \cdot (S - C)^2}{n_y} \cdot \left[ 0,18 + 3,3 \cdot \frac{D(S - C)}{l_Q^2} \right],$$

$$[Q]_E = \frac{2,4 \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot (0,018 - 0,0018)^2}{1,8} \cdot \left[ 0,18 + 3,3 \cdot \frac{2,8(0,018 - 0,0018)}{9,627^2} \right],$$

$$[Q]_E = 1,271 \cdot 10^7 \text{ Н} \quad (15)$$

где расчётная длина для расчёта от действия поперечной силы принимаем,  $l_Q = 9,627 \text{ м}$ .

Допускаемое поперечное усилие  $[Q]$  определяется по формуле:

$$[Q] = \frac{[Q]_{\text{т}}}{\sqrt{1 + \left( \frac{[Q]_{\text{т}}}{[Q]_E} \right)^2}} = \frac{10,919 \cdot 10^6}{\sqrt{1 + \left( \frac{10,919 \cdot 10^6}{1,271 \cdot 10^7} \right)^2}} = 8,011 \cdot 10^6 \text{ Н} \quad (16)$$

Допускаемое поперечное усилие больше табличного,  $8,011 \cdot 10^6 \text{ Н} \geq 2,792 \cdot 10^5 \text{ Н}$ . Условие прочности и устойчивости выполнено.

*Обечайка, работающая под совместным действием наружного давления, осевого сжимающего усилия, изгибающего момента и поперечного усилия.*

Проверка условия устойчивости проводится по формуле:

$$\frac{\rho_H}{[\rho_H]} + \frac{F}{[F]} + \frac{M}{[M]} + \left( \frac{Q}{[Q]} \right)^2 \leq 1,$$

$$\frac{0}{0} + \frac{0}{0} + \frac{3,956 \cdot 10^5}{2,5172 \cdot 10^7} + \left( \frac{2,792 \cdot 10^5}{8,011 \cdot 10^6} \right)^2 = 0,0169 \leq 1$$

где  $[\rho_H]$  - допускаемое наружное давление,  $[F]$  - допускаемое осевое сжимающее усилие,  $[M]$  - допускаемый изгибающий момент,  $[Q]$  - допускаемое поперечное усилие.

Заключение: Условие устойчивости выполнено

***Обечайка, нагруженная осевым растягивающим усилием***

Допускаемое осевое растягивающее усилие  $[F]$  определяется по формуле:

$$[F] = \pi \cdot (D + S_T - C) \cdot (S_T - C) \cdot [\sigma] \cdot \varphi,$$

$$[F] = 3,14 \cdot (2,8 + 0,018 - 0,0018) \cdot (0,018 - 0,0018) \cdot 250,9 \cdot 1 = 3,596 \cdot 10^7 \text{ Н} \quad (17)$$

Допускаемый изгибающий момент из условия прочности со стороны растяжения  $[M]_{\text{пр}}$  определяем по формуле:

$$M_{\text{пр}} = \frac{D}{4} \cdot [F] = \frac{2,8}{4} \cdot 3,596 \cdot 10^7 = 2,517 \cdot 10^7 \text{ Н м} \quad (18)$$

Обечайка, работающая под совместным действием внутреннего давления, осевого растягивающего усилия и изгибающего момента. Проверка условия прочности проводим по формуле:

$$\frac{F + P_p \cdot \frac{\pi D^2}{4}}{[F]} + \frac{M}{[M]_{\text{пр}}} \leq 1,0,$$

$$\frac{0 + 0,8469 \cdot \frac{3,14 \cdot 2,8^2}{4}}{3,596 \cdot 10^7} + \frac{3,956 \cdot 10^5}{2,517 \cdot 10^7} = 0,1491 \leq 1$$

Закключение: Условие прочности выполнено.

### 2.2.2. Расчет эллиптического днища

Принимаем следующие параметры днища:

Внутренний диаметр,  $D$  - 2,8 м

Высота днища,  $H$  - 0,7 м

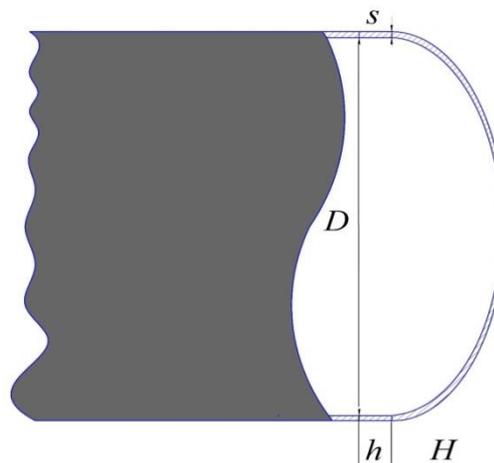


Рисунок 9 – Эллиптическая днища

Радиус кривизны в вершине днища ( $R_k$ ) определяем по формуле:

$$R_k = \frac{D^2}{4 \cdot H} = \frac{2,8^2}{4 \cdot 0,7} = 2,8 \text{ м} \quad (19)$$

Проводим расчет толщины стенки днища ( $S_d$ ) которое определяется по формуле:

$$S = \frac{P_p \cdot D}{2 \cdot \varphi[\sigma] - 0,5P_p} + C = \frac{0,8469 \cdot 2,8}{2 \cdot 1 \cdot 250,9 - (0,5 \cdot 0,8469)} + 0,0018 = 0,006529 \text{ м} \quad (20)$$

К производству принята толщина стенки днища,  $S - 0,022$  м. Условие прочности выполнено.

Допускаемое давление днища определяем по формуле:

$$[P]_o = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi \cdot (s - C)}{D + 0,5 \cdot (s - C)} = \frac{2 \cdot 250,9 \cdot 1 \cdot (0,018 - 0,0018)}{2,8 + 0,5 \cdot (0,018 - 0,0018)} = 2,9113 \text{ МПа} \quad (21)$$

Допускаемая давления больше от расчетного  $2,9113 \text{ МПа} > 0,8469 \text{ МПа}$ .  
Условие прочности выполнено.

### 2.2.3. Расчет штуцера расположенный на днище

Исходные данные для штуцера:

Тип штуцера: Проходящий без укрепления

Внутренний диаметр штуцера:  $d = 0,012$  м

Толщина стенки штуцера:  $S_1 = 0,003$  м

Сумма прибавок к толщине стенки штуцера (включая коррозию)  $C = 0,001$  м

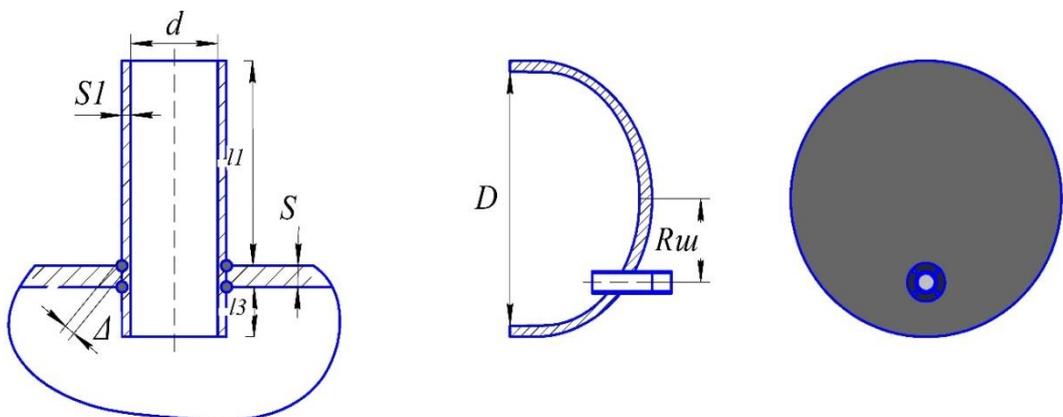


Рисунок 10 - Штуцер расположенный на днище

Длина штуцера:  $\Delta l$  0,065 м

Смещение штуцера,  $R_{III}$ : 1,1 м

Угол поворота штуцера: 180 °

Полученный угол наклона штуцера: (-31,79) °

Длина внутр. части штуцера,  $l_3$ : 0,01 м

Минимальный размер сварного шва,  $\varphi$ : 0,004 м

Расчётный диаметр выпуклого эллиптического днища ( $D_p$ ) определяем по формуле:

$$D_p = \frac{D^2}{2 \cdot H} \cdot \sqrt{1 - 4 \cdot \frac{(D^2 - 4 \cdot H^2)}{D^4}} \cdot R_{III}^2,$$
$$D_p = \frac{2,8^2}{2 \cdot 0,7} \cdot \sqrt{1 - 4 \cdot \frac{(2,8^2 - 4 \cdot 0,7^2)}{2,8^4}} \cdot 1,1^2 = 4,104 \text{ м} \quad (22)$$

где  $H$  - высота днища,  $D$  - диаметр днища,  $R_{III}$  - смещение штуцера.

Расчётная толщина стенки штуцера ( $S_{1p}$ ) определяем по формуле:

$$S_{1p} = \frac{P_p(d + 2C)}{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi - P_p} = \frac{0,8469 \cdot (0,012 + 2 \cdot 0,001)}{2 \cdot 250,9 \cdot 1 - 0,8469} = 2,3668 \cdot 10^{-5} \text{ м} \quad (23)$$

где  $d$  - внутренний диаметр штуцера,  $C$  - сумма прибавок к толщине стенки штуцера (включая коррозию).

Допускаемое давление для патрубка штуцера определяется по формуле:

$$[P] = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi \cdot (s - C)}{d + s + C} = \frac{2 \cdot 250,9 \cdot 1 \cdot (0,003 - 0,001)}{0,012 + 0,003 + 0,001} = 62,72 \quad (24)$$

где  $S_1$ -толщина стенки штуцера.

62,72 МПа  $\geq$  0,8469 МПа. Отношения выполняет условие прочности и устойчивости.

Расчётный диаметр штуцера ( $d_p$ ) на эллиптическом днище определяем по формуле:

$$d_p = \frac{d + 2 \cdot C_{III}}{\sqrt{1 - \left(\frac{2 \cdot R_{III}}{D_p}\right)^2}} = \frac{0,012 + 2 \cdot 0,001}{\sqrt{1 - \left(\frac{2 \cdot 1,1}{4,104}\right)^2}} = 0,01658 \text{ м} \quad (25)$$

Расчётный диаметр ( $d_0$ ) одиночного отверстия, не требующего укрепления, определяем по формуле:

$$d_0 = 2 \cdot \left( \frac{S - C}{S_p} - 0,8 \right) \cdot \sqrt{D_p \cdot (S - C)},$$

$$d_0 = 2 \cdot \left( \frac{0,022 - 0,0018}{0,003177} - 0,8 \right) \cdot \sqrt{4,104 \cdot (0,022 - 0,0018)} = 3,201 \text{ м} \quad (26)$$

где расчётная толщина стенки несущего элемента в месте расположения штуцера  $S_p = 0,003177$  м.

$d_p < d_0$ . Отношения выполняет условие прочности.

Расчётная длина внешней части штуцера ( $l_{1p}$ ) определяем по формуле:

$$l_{1p} = \min \left\{ l_1; 1,25 \cdot \sqrt{(d + 2 \cdot C_{III}) \cdot (S - C_{III})} \right\},$$

$$l_{1p} = \min \left\{ 0,065; 1,25 \cdot \sqrt{(0,012 + 2 \cdot 0,001) \cdot (0,012 - 0,001)} \right\} = 0,006614 \text{ м} \quad (27)$$

где  $l_1$  - длина штуцера,  $S$  - толщина стенки штуцера

Расчётная длина внутренней части штуцера ( $l_{3p}$ ) определяем по формуле:

$$l_{3p} = \min \left\{ l_3; 0,5 \cdot \sqrt{(d + 2 \cdot C_{III}) \cdot (S_3 - C_{III} - C_{S1})} \right\}, \quad (28)$$

$$l_{3p} = \min \left\{ 0,01; 0,5 \cdot \sqrt{(0,012 + 2 \cdot 0,001) \cdot (0,012 - 0,001 - 0,001)} \right\} = 0,001871 \text{ м}$$

где  $l_3$  - длина внутр. части штуцера, в случае переходящего штуцера  $S_1 = S_3$ .

### **Отношения допускаемых напряжений**

Так как материалы обечайки штуцера одинаковые  $\chi_1 = 1$

Ширина зоны укрепления ( $L_0$ ) определяем по формуле:

$$L_0 = \sqrt{D_p \cdot (S - C)} = \sqrt{4,104 \cdot (0,022 - 0,0018)} = 0,2879 \text{ м} \quad (29)$$

Расчётная ширина зоны укрепления принимаем:  $l_p = L_0 = 0,2879$  м.

Расчётный диаметр отверстия ( $d_{0p}$ ) не требующего дополнительного укрепления определяем по формуле:

$$d_{0p} = 0,4 \cdot \sqrt{D_p \cdot (S - C)} = 0,4 \cdot \sqrt{4,104 \cdot (0,022 - 0,0018)} = 0,1152 \text{ м} \quad (30)$$

Допускаемое внутреннее избыточное давление ( $[P]_p$ ) определяем по формуле:

$$[P]_p = \frac{2 \cdot K_1 \cdot (s - C) \cdot \varphi \cdot [\sigma]}{D_p (s - C) \cdot V} \cdot V = \frac{2 \cdot 2 \cdot (0,022 - 0,0018) \cdot 1 \cdot 250,9}{4,104 \cdot (0,022 - 0,0018) \cdot 1} = 4,916 \text{ МПа} \quad (31)$$

где  $K_1=2$ , для выпуклых днищ,  $V$ - коэффициент понижения прочности определяем по формуле:

$$V = \min \left\{ 1; \frac{1 + \frac{l_{1p} \cdot (S_1 - C_{III}) \cdot \chi_1 + l_{2p} \cdot S_2 \cdot \chi_2 + l_{3p} \cdot (S_3 - C_{III} - C_{S1}) \cdot \chi_3}{l_p \cdot (S - C)}}{1 + 0,5 \cdot \frac{d_p - d_{0p}}{1_p} + K_1 \cdot \frac{d + 2 \cdot C_{S1}}{D_p} \cdot \frac{\varphi}{\varphi_1} \cdot \frac{l_{1p}}{l_p}} \right\},$$

$$\min \left\{ 1; \frac{1 + \frac{0,006614 \cdot (0,003 - 0,001) \cdot 1 + 0 \cdot 0 \cdot 0 + 0,001871 \cdot (0,003 - 0,001 - 0,001) \cdot 1}{0,2879 \cdot (0,022 - 0,0018)}}{1 + 0,5 \cdot \frac{0,01658 - 0,1152}{0,2879} + 1 \cdot \frac{0,012 + 2 \cdot 0,001}{4,104} \cdot \frac{1}{1} \cdot \frac{0,006614}{0,2879}} \right\}$$

$$V = 1,209 = 1.$$

Принимаем  $V=1$ .

$3,611 \text{ МПа} \geq 0,8469 \text{ МПа}$ . Условие прочности и устойчивости выполнено

Площадь, необходимая для укрепления отверстия определяем по формуле:

$$A_r = 0,5(d_p - d_{0p}) \cdot S_p = 0,5 \cdot (0,01658 - 0,1152) \cdot 0,003177 = -0,0001566 \text{ м}^2 \quad (32)$$

Располагаемая площадь укрепления отверстия определяем по формуле:

$$A_2 = l_{1p} \cdot (S_1 - S_{1p} - C_{S1}) \cdot \chi_1 + l_{2p} \cdot S_2 \cdot \chi_2 + l_{3p} \cdot (S_3 - C_{III} - C_{S1}) \cdot \chi_3 + l_p \cdot (S - S_p - C)$$

$$A_2 = 0,006614 \cdot (0,003 - 3,422 \cdot 10^{-5} - 0,001) \cdot 1 + 0 \cdot 0 \cdot 0 + 0,001871 \cdot (0,003 - 0,001 - 0,001) \cdot 1 + 0,2879 \cdot (0,022 - 0,003177 - 0,0018) = 0,004916 \text{ м}^2 \quad (33)$$

$-0,0001566 \text{ м}^2 \leq 0,004916 \text{ м}^2$ . Условия прочности выполняется.

## 2.2.4. Расчет штуцера расположенный на цилиндрической обечайке

Исходные данные:

Элемент: Штуцер №2

Тип элемента, несущего штуцер: Обечайка цилиндрическая

Тип штуцера: Проходящий без укрепления

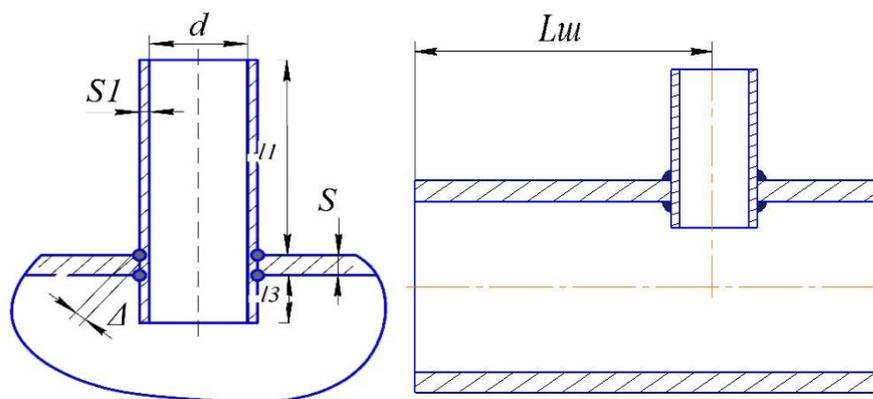


Рисунок 11 - Штуцер смонтированный в сосуд

Толщина стенки несущего элемента,  $s$ : 0,018 м

Внутренний диаметр штуцера,  $d$ : 0,79 м

Толщина стенки штуцера,  $s_1$ : 0,005 м

Длина штуцера,  $l_1$ : 0,065 м

Смещение штуцера,  $L_{ш}$ : 8,5 м

Угол поворота штуцера,  $\vartheta$ :  $0^\circ$

Длина внутр. части штуцера,  $l_3$ : 2,6 м

Прибавка на коррозию,  $c_{s1}$ : 0,001 м

Минимальный размер сварного шва,  $\Delta$ : 0,005 м

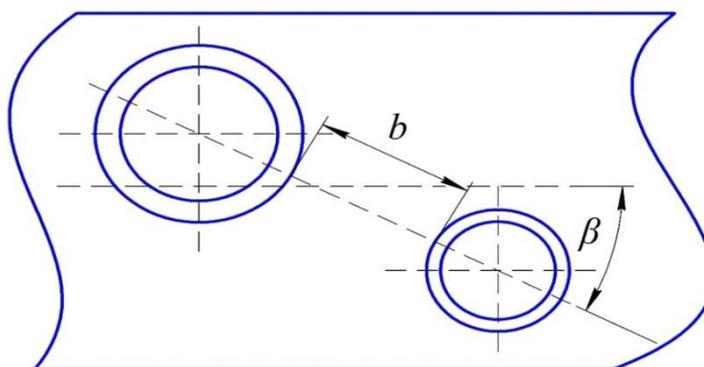


Рисунок 12 - Расчётные параметры размещения штуцера

Расстояние до стенки ближайшего штуцера,  $b$ : 0,477 м

Угол  $\beta$ :  $0^\circ$

Расчётная толщина стенки штуцера определяется по формуле:

$$S_{1p} = \frac{P_p(d + 2C)}{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi - P_p} = \frac{0,8469 \cdot (0,079 + 2 \cdot 0,001)}{2 \cdot 250,9 \cdot 1 - 0,8469} = 1,3693 \cdot 10^{-4} \text{ м} \quad (34)$$

Допускаемое давление для патрубка штуцера определяем по формуле:

$$[P] = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi \cdot (s - C)}{d + s + C} = \frac{2 \cdot 250,9 \cdot 1 \cdot (0,005 - 0,001)}{0,79 + 0,005 + 0,001} = 2,5216 \text{ МПа} \quad (35)$$

$2,5216 \text{ МПа} \geq 0,8469 \text{ МПа}$ . Отношения выполняет условие прочности и устойчивости.

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

$$d_p = d + 2 \cdot c_s = 0,079 + 2 \cdot 0,001 = 0,081 \text{ м} \quad (36)$$

Расчётный диаметр одиночного отверстия, не требующего укрепления, определяем по формуле:

$$d_0 = 2 \cdot \left( \frac{S - C}{S_p} - 0,8 \right) \cdot \sqrt{D_p \cdot (S - C)},$$
$$d_0 = 2 \cdot \left( \frac{0,018 - 0,0018}{0,0042} - 0,8 \right) \cdot \sqrt{2800 \cdot (0,018 - 0,0018)} = 1,302 \text{ м} \quad (37)$$

где расчётная толщина стенки несущего элемента в месте расположения штуцера  $S_p = 0,0042 \text{ м}$ .

$d_p < d_0$ . Отношения выполняет условие прочности.

Расчётная длина внешней части штуцера определяем по формуле:

$$l_{1p} = \min \left\{ l_1; 1,25 \cdot \sqrt{(d + 2 \cdot C_{III}) \cdot (S - C_{III})} \right\},$$
$$l_{1p} = \min \left\{ 0,065; 1,25 \cdot \sqrt{(0,079 + 2 \cdot 0,001) \cdot (0,05 - 0,001)} \right\} = 0,0225 \text{ м} \quad (38)$$

где  $l_1$  - длина штуцера,  $S$  - толщина стенки штуцера.

Расчётная длина внутренней части штуцера определяем по формуле:

$$l_{3p} = \min \left\{ l_3; 0,5 \cdot \sqrt{(d + 2 \cdot C_{III}) \cdot (S_3 - C_{III} - C_{S1})} \right\},$$

$$l_{3p} = \min \left\{ 2,6; 0,5 \cdot \sqrt{(0,079 + 2 \cdot 0,001) \cdot (0,005 - 0,001 - 0,001)} \right\} = 0,007794 \text{ м} \quad (39)$$

Ширина зоны укрепления ( $L_0$ ) определяем по формуле:

$$L_0 = \sqrt{D_p \cdot (S - C)} = \sqrt{2,8 \cdot (0,018 - 0,0018)} = 0,213 \text{ м} \quad (40)$$

Расчётная ширина зоны укрепления принимаем:  $l_p = L_0 = 0,213 \text{ м}$ .

Расстояние от наружной поверхности штуцера до ближайшего несущего конструктивного элемента (Днище эллиптическое):  $L_k = 0,5355 \text{ м}$

Расчётный диаметр отверстия ( $d_{0p}$ ) не требующего дополнительного укрепления определяем по формуле:

$$d_{0p} = 0,4 \cdot \sqrt{D_p \cdot (S - C)} = 0,4 \cdot \sqrt{2,8 \cdot (0,018 - 0,0018)} = 0,8519 \text{ м} \quad (41)$$

Допускаемое внутреннее избыточное давление ( $[P]_p$ ) определяем по формуле:

$$[P]_p = \frac{2 \cdot K_1 \cdot (s - C) \cdot \varphi \cdot [\sigma]}{D_p \cdot (s - C) \cdot V} \cdot V = \frac{2 \cdot 1 \cdot (0,018 - 0,0018) \cdot 1 \cdot 250,9}{2,8 \cdot (0,018 - 0,0018) \cdot 1} = 2,887 \text{ МПа} \quad (42)$$

$2,887 \text{ МПа} \geq 0,8469 \text{ МПа}$ . Условие прочности и устойчивости выполнено

Отверстие считается одиночным, если ближайшее к нему отверстие не оказывает на него влияния, т.е. расстояние между наружными поверхностями соответствующих штуцеров удовлетворяет условию:

$$b > \sqrt{D'_p \cdot (s - c)} + \sqrt{D''_p \cdot (s - c)},$$

$$b > \sqrt{2,8 \cdot (0,018 - 0,0018)} + \sqrt{2,8 \cdot (0,018 - 0,0018)} = 0,426 \text{ м}$$

$0,477 \text{ м} > 0,426 \text{ м}$ . Отверстие считается одиночным.

Площадь, необходимая для укрепления отверстия определяем по формуле:

$$A_r = 0,5(d_p - d_{0p}) \cdot S_p = 0,5 \cdot (0,081 - 0,8519) \cdot 0,0042 = -0,008802 \text{ м}^2 \quad (43)$$

Располагаемая площадь укрепления отверстия определяем по формуле:

$$A_2 = l_{1p} \cdot (S_1 - S_{1p} - C_{S1}) \cdot \chi_1 + l_{2p} \cdot S_2 \cdot \chi_2 + l_{3p} \cdot (S_3 - C_{ш} - C_{S1}) \cdot \chi_3 + l_p \cdot (S - S_p - C)$$

$$A_2 = 0,0225 \cdot (0,005 - 1,979 \cdot 10^{-4} - 0,001) \cdot 1 + 0 \cdot 0 \cdot 0 + 0,007794 \cdot (0,004 - 0,001 - 0,001) \cdot 1 + 0,213 \cdot (0,018 - 0,0042 - 0,0018)$$

$$A_2 = 2,666 \text{ м}^2 \quad (44)$$

$-0,008802 \text{ м}^2 \leq 2,666 \text{ м}^2$ . Условие прочности выполняется.

**Расчёт на прочность от воздействия внешних нагрузок**

Радиальная нагрузка, $F_R$ :	273,9 Н
Окружной момент, $M_C$ :	0 Н м
Продольный момент, $M_L$ :	0 Н м
Крутящий момент, $M_T$ :	0 Н м
Сдвиговая нагрузка, $F_C$ :	0 Н
Сдвиговая нагрузка, $F_L$ :	0 Н

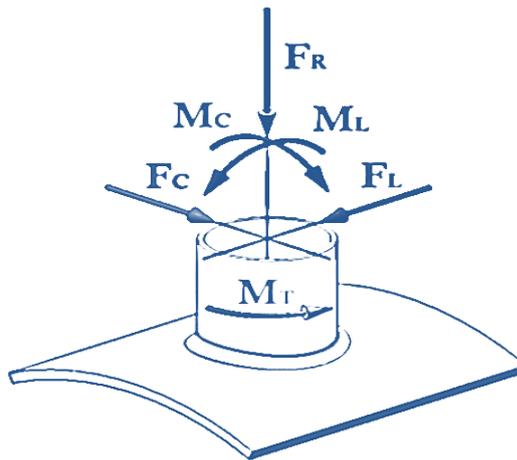


Рисунок 13 – Внешние нагрузки действующие на штуцер

Эквивалентная толщина обечайки около штуцера  $s_s$  считаем по формуле:

$$s_s = s - c = 0,018 - 0,0018 = 0,0162 \text{ м}$$

Средний диаметр обечайки у отверстия  $D_c$  считаем по формуле:

$$D_c = D_p + s + c = 2,8 + 0,018 + 0,0018 = 2,82 \text{ м} \quad (45)$$

Средний диаметр штуцера считаем по формуле:

$$d_c = d + s_1 + c_s = 0,079 + 0,005 + 0,001 = 0,085 \text{ м} \quad (46)$$

Прочность от действия давления  $\Phi_p$  определяем по формуле:

$$\Phi_p = \left| \frac{p}{[p]_p} \right| = \frac{0,8469}{2,887} = 0,2936 \quad (47)$$

Условие прочности выполняется  $0,2645 \leq 1,0$ .

**Расчетная схема по ГОСТ Р 52857.3-2007**

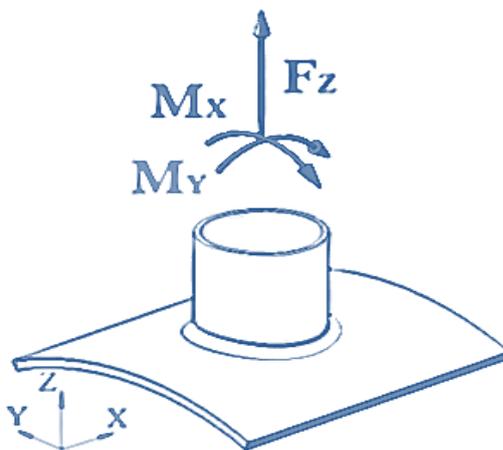


Рисунок 14 - Усилие действующее на штуцер

Осевое растягивающее усилие, действующее на штуцер :

$$F_z = -F_R \quad (-273,9)\text{Н}$$

$$\lambda_c = \frac{d_c}{\sqrt{D_c \cdot (s - c)}} = \frac{0,085}{\sqrt{2,82 \cdot (0,018 - 0,0018)}} = 0,3977 \quad (48)$$

Допускаемое осевое усилие на штуцер при отсутствии накладного кольца  $\lambda_c = 0,3977$  :

$$[F_z] = [\sigma] \cdot (s - c)^2 \cdot \max \{C_1; 1,81\}$$

$$[F_z] = 250,9 \cdot (0,018 - 0,0018)^2 \cdot \{0,98; 1,81\} = 1,192 \cdot 10^5 \text{ Н} \quad (49)$$

где  $C_1$  считаем по формуле:

$$C_1 = a_0 + a_1 \cdot \lambda_c + a_2 \cdot \lambda_c^2 + a_3 \cdot \lambda_c^3 + a_4 \cdot \lambda_c^4 \quad (50)$$

$$C_1 = 0,6007 + 0,952 \cdot 0,3977 + 0,005196 \cdot 0,3977^2 + (-0,001406) \cdot 0,3977^3 + 0 \cdot 0,3977^4$$

$$C_1 = 0,98$$

Прочность от действия осевой нагрузки:

$$\Phi_z = \left| \frac{F_z}{[F_z]} \right| = \frac{-273,9}{1,192 \cdot 10^5} = 0,002298$$

Условие прочности выполняется  $0,002298 \leq 1,0$ .

Окружной приведенный момент, действующий на штуцер считаем по формуле:

$$M_x = M_c + F_c \cdot l_1 = 0 \text{ Нм}$$

Допускаемый изгибающий момент, действующий на штуцер в плоскости, перпендикулярной к оси сосуда, при отсутствии накладного кольца ( $\lambda_c = 0,3977$ ) определяем по формуле:

$$[M_x] = [\sigma] \cdot (s - c)^2 \cdot \frac{d_c}{4} \cdot \max\{C_2; 4,9\},$$

$$[M_x] = 250,9 \cdot (0,018 - 0,0018) \cdot \frac{0,085}{4} \cdot \max\{4,576; 4,9\} = 6856 \text{ Н м} \quad (51)$$

где  $C_2$  считаем по формуле:

$$C_2 = a_0 + a_1 \cdot \lambda_c + a_2 \cdot \lambda_c^2 + a_3 \cdot \lambda_c^3 + a_4 \cdot \lambda_c^4 \quad (52)$$

$$C_2 = 4,526 + 0,06402 \cdot 0,3977 + 0,1589 \cdot 0,3977^2 + (-0,02142) \cdot 0,3977^3 + 0,001035 \cdot 0,3977^4 = 4,576$$

$$C_2 = 4,576$$

Допускаемый изгибающий момент, действующий на штуцер в плоскости, перпендикулярной к оси сосуда, при отсутствии накладного кольца ( $\lambda_c = 0,3977$ ) определяем по формуле:

$$[M_y] = [\sigma] \cdot (s - c)^2 \cdot \frac{d_c}{4} \cdot \max\{C_3; 4,9\},$$

$$[M_y] = 250,9 \cdot (0,018 - 0,0018) \cdot \frac{0,085}{4} \cdot \max\{5,178; 4,9\} = 7245 \text{ Н м} \quad (53)$$

где  $C_3$  считаем по формуле:

$$C_3 = a_0 + a_1 \cdot \lambda_c + a_2 \cdot \lambda_c^2 + a_3 \cdot \lambda_c^3 + a_4 \cdot \lambda_c^4 = 5,178 \quad (54)$$

Прочность от действия изгибающих моментов  $\Phi_b$  считаем по формуле:

$$\Phi_b = \sqrt{\left(\frac{M_x}{[M_x]}\right)^2 + \left(\frac{M_y}{[M_y]}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0}{6856}\right)^2 + \left(\frac{0}{7245}\right)^2} = 0 \quad (55)$$

Условие прочности  $\Phi_b \leq 1$  выполняется.

Прочность от совместного действия нагрузок считаем по формуле:

$$\sqrt{\left[ \max \left( \left| \frac{\Phi_p}{C_4} + \Phi_z \right|; \left| \Phi_z \right|; \left| \frac{\Phi_p}{C_4} - 0,2 \cdot \Phi_z \right| \right) \right]^2 + \Phi_b^2} \leq 1$$

$$\sqrt{\left[ \max \left( \left| \frac{0,2604}{1} + (-0,002298) \right|; \left| (-0,002298) \right|; \left| \frac{0,2604}{1} - 0,2 \cdot (-0,002298) \right| \right) \right]^2 + 0^2}$$

$0,2608 \leq 1,0$ . Условие прочности выполнено

Максимальные продольные растягивающие напряжения в штуцере определяем по формуле:

$$\sigma_1 = \frac{p \cdot (d + s_1)}{4 \cdot (s_1 - c_s)} + \frac{4 \cdot \sqrt{M_x^2 + M_y^2}}{\pi \cdot (d + s_1)^2 \cdot (s_1 - c_s)} + \frac{F_z}{\pi \cdot (d + s_1)^2 \cdot (s_1 - c_s)},$$

$$\sigma_1 = \frac{0,8469 \cdot (0,079 + 0,005)}{4 \cdot (0,005 - 0,001)} + \frac{4 \cdot \sqrt{0^2 + 0^2}}{3,14 \cdot (0,079 + 0,005)^2 \cdot (0,005 - 0,001)} +$$

$$+ \frac{0}{3,14 \cdot (0,079 + 0,005)^2 \cdot (0,005 - 0,001)} = 3,946$$

$$\sigma_1 = 3,946 \text{ МПа} \tag{56}$$

Если  $F_z$  создает сжимающее напряжение, ее следует принять равной нулю.

$3,946 \text{ МПа} < 250,9 \text{ МПа}$ . Условие прочности выполнено.

Условие устойчивости штуцера проверяем по формуле:

$$\frac{|p|}{[p]} + \frac{\sqrt{M_x^2 + M_y^2}}{[M]} + \frac{|F_z|}{[F]} \leq 1,0,$$

$$\frac{0}{23,61} + \frac{\sqrt{0^2 + 0^2}}{5168} + \frac{(-273,9)}{2,588 \cdot 10^5} = 0,001058,$$

Если  $F_z$  растягивающая продольная сила, а  $p$  – внутреннее избыточное давление, то  $F_z$  и  $p$  следует принять равными нулю.

$0,001058 \leq 1,0$ . Условие устойчивости выполнено.

### 2.2.5. Опора седловая

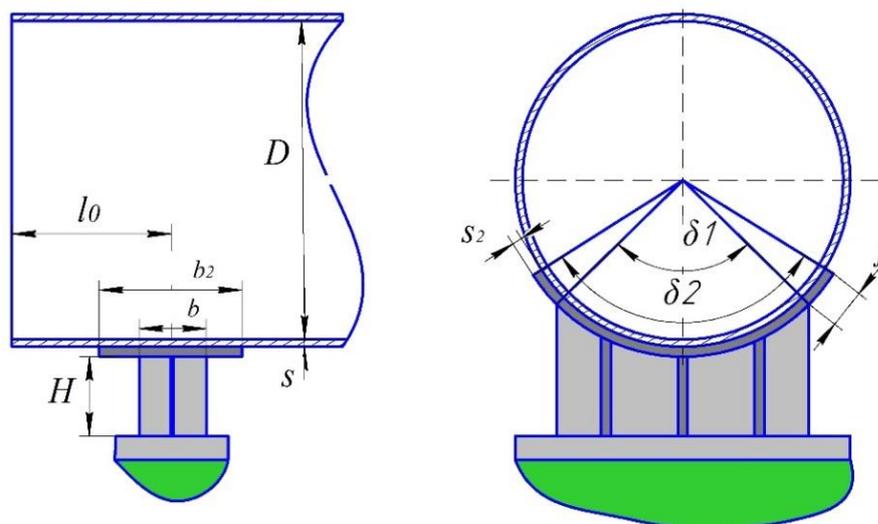


Рисунок 15 - Седловая опора

Исходные данные:

Элемент, связанный с опорой: Обечайка цилиндрическая

Внутренний диаметр обечайки,  $D$ : 2,8 м

Толщина стенки обечайки,  $s$ : 0,018 м

Ширина опоры,  $b$ : 0,3 м

Угол охвата опоры,  $\delta_1$ : 115 °

Расстояние от края элемента,  $l_0$ : 0,6 м

Расстояние до днища,  $a$ : 0,68 м

Высота опоры,  $H$ : 0,18 м

Толщина листа,  $s_2$ : 0,010 м

Ширина листа,  $b_2$ : 0,45 м

Угол охвата листа,  $\delta_2$ : 140 °

Длина выступающей части листа,  $f$ : 0,3115 м

**Условия нагружения при испытаниях (см. Эпюры сил и моментов):**

Изгибающий момент над опорой,  $M$ :  $1,556 \cdot 10^5$  Нм

Опорное усилие,  $F$ :  $3,753 \cdot 10^5$  Н

Поперечное усилие в сечении оболочки над опорой,  $Q$ :  $2,825 \cdot 10^5$  Н

Допускаемые нагрузки для элемента, связанного с обечайкой (см. расчёт “Обечайка цилиндрическая”):

Допускаемое наружное давление, [p]: 0,1709 МПа

Допускаемый изгибающий момент, [M]уст:  $2,289 \cdot 10^7$  Н м

Допускаемая осевое сжимающее усилие, [F]:  $3,187 \cdot 10^7$  Н

Допускаемая поперечное усилие, [Q]:  $7,323 \cdot 10^6$  Н

Расчёт обечайки на прочность и устойчивость от опорных нагрузок.

*Опора без подкладного листа*

$$K_{13} = \frac{\max \left\{ 1,7 - \frac{2,1 \cdot \delta_1}{\pi}; 0 \right\}}{\sin(0,5 \cdot \delta_1)} = \frac{\max \left\{ 1,7 - \frac{2,1 \cdot 2,007}{\pi}; 0 \right\}}{\sin(0,5 \cdot 2,007)} = 0,4249$$

где  $\delta_1$  - угол охвата опоры в радианах,

Параметр, определяемый расстоянием до днища, определяем по формуле:

$$\gamma = 2,83 \cdot \frac{a}{D} \cdot \sqrt{\frac{s-c}{D}} = 2,83 \cdot \frac{0,68}{2,8} \cdot \sqrt{\frac{0,018 - 0,0018}{2,8}} = 0,05228 \quad (57)$$

где  $a$  - расстояние до днища,

Коэффициенты, учитывающие влияние расстояния до днища ( $\delta_1$  подставляют в радианах):

$$K_{15} = \min \left\{ 1,0; \frac{0,8 \cdot \sqrt{\gamma} + 6 \cdot \gamma}{\delta_1} \right\} = \min \left\{ 1,0; \frac{0,8 \cdot \sqrt{0,05228} + 6 \cdot 0,05228}{2,007} \right\} = 0,2474$$

Коэффициенты, учитывающие влияние угла охвата опоры ( $\delta_1$  подставляют в радианах):

$$K_{12} = \frac{1,15 - 0,1432 \cdot \delta_1}{\sin(0,5 \cdot \delta_1)} = \frac{1,15 - 0,1432 \cdot 2,007}{\sin(0,5 \cdot 2,007)} = 1,023$$

Параметр, определяемый шириной пояса опоры определяем по формуле:

$$\beta_1 = 0,91 \cdot \frac{b}{\sqrt{D \cdot s - c}} = 0,91 \cdot \frac{0,3}{\sqrt{2,8 \cdot (0,018 - 0,0018)}} = 1,282 \quad (58)$$

Коэффициенты, учитывающие влияние ширины пояса опоры ( $\delta_1$  подставляют в радианах):

$$K_{10} = \max \left\{ \frac{e^{-\beta_1} \cdot \sin \beta_1}{\beta_1}; 0,25 \right\} = \max \left\{ \frac{e^{-1,282} \cdot \sin(1,282)}{1,282}; 0,25 \right\} = 0,25$$

$$\mathcal{G}_1 = -\frac{0,23 \cdot K_{13} \cdot K_{15}}{K_{12} \cdot K_{10}} = -\frac{0,23 \cdot 0,4249 \cdot 0,2474}{1,023 \cdot 0,25} = (-0,09456) \quad (59)$$

Общее осевое мембранное напряжение изгиба в области опорного узла:

$$\bar{\sigma}_{mx} = \frac{4 \cdot M}{\pi \cdot D^2 \cdot (s - c)} = \frac{4 \cdot 1,556 \cdot 10^5}{3,14 \cdot 2,8^2 \cdot (0,018 - 0,0018)} = 1,559 \text{ МПа} \quad (60)$$

$$\mathcal{G}_{2,1} = -\bar{\sigma}_{mx} \cdot \frac{1}{K_2 \cdot [\sigma]} = -1,559 \cdot \frac{1}{1,05 \cdot 250,9} = (-0,005919) \quad (61)$$

$$\mathcal{G}_{2,2} = \left( \frac{p - D}{4 \cdot (s - c)} - \bar{\sigma}_{mx} \right) \cdot \frac{1}{K_2 \cdot [\sigma]},$$

$$\mathcal{G}_{2,2} = \left( \frac{0,8469 - 2,8}{4 \cdot (0,018 - 0,0018)} - 0,005919 \right) \cdot \frac{1}{1,05 \cdot 250,9} = 0,128 \quad (62)$$

Примечание: при  $\mathcal{G}_{2,1} < 0$  в расчёте  $K_1$  знаки  $\mathcal{G}_1$  и  $\mathcal{G}_2$  меняют на противоположные,

$$K_1 = \frac{1 - \mathcal{G}_2^2}{\left( \frac{1}{3} + \mathcal{G}_1 \cdot \mathcal{G}_2 \right) + \sqrt{\left( \frac{1}{3} + \mathcal{G}_1 \cdot \mathcal{G}_2 \right)^2 + (1 - \mathcal{G}_2^2) \cdot \mathcal{G}_1}} = 1,469 \text{ при } \mathcal{G}_2 = \mathcal{G}_{2,2},$$

1,5 при  $\mathcal{G}_2 = \mathcal{G}_{2,1}$ .

$$K_1 = \min \{ 1,469, 1,5 \} = 1,469$$

Расчёт в точке 2:

Предельное напряжение изгиба  $[\sigma_i]_2$  определяем по формуле:

$$[\sigma_i]_2 = K_1 \cdot K_2 \cdot [\sigma] = 1,469 \cdot 1,05 \cdot 250,9 = 241,5 \text{ МПа} \quad (63)$$

Допускаемое опорное усилие от нагрузки в осевом направлении  $[F]_2$  определяем по формуле:

$$[F]_2 = \frac{0,7 \cdot [\sigma_i]_2 \cdot \sqrt{D \cdot (s - c) \cdot (s - c)}}{K_{10} \cdot K_{12}},$$

$$[F]_2 = \frac{0,7 \cdot 241,5 \cdot \sqrt{2,8 \cdot (0,018 - 0,0018) \cdot (0,018 - 0,0018)}}{0,25 \cdot 1,023} = 3,655 \cdot 10^6 \text{ Н} \quad (64)$$

$$K_{11} = \frac{1 - e^{-\beta_1} \cdot \cos \beta_1}{\beta_1} = \frac{1 - e^{-1,282} \cdot \cos 1,282}{1,282} = 0,7184$$

$$K_{14} = \frac{1,45 - 0,43 \cdot \delta_1}{\sin(0,5 \cdot \delta_1)} = \frac{1,45 - 0,43 \cdot 2,007}{\sin(0,5 \cdot 2,007)} = 0,6959$$

$$K_{16} = 1 - \frac{0,65}{1 + (6 \cdot \gamma)^2} \cdot \sqrt{\frac{\pi}{3 \cdot \delta_1}} = 1 - \frac{0,65}{1 + (6 \cdot 0,05228)^2} \cdot \sqrt{\frac{3,14}{3 \cdot 2,007}} = 0,5726$$

$$K_{17} = \frac{1}{1 + 0,6 \cdot \sqrt[3]{\frac{D}{s-c}} \cdot \frac{b}{D} \cdot \delta_1} = \frac{1}{1 + 0,6 \cdot \sqrt[3]{\frac{2,8}{0,018 - 0,0018}} \cdot \frac{0,3}{2,8} \cdot 2,007} = 0,5818$$

$$\mathcal{G}_1 = \frac{0,53 \cdot K_{11}}{K_{14} \cdot K_{16} \cdot K_{17} \cdot \sin(0,5 \cdot \delta_1)},$$

$$\mathcal{G}_1 = \frac{0,53 \cdot 0,7184}{0,6959 \cdot 0,5726 \cdot 0,5818 \cdot \sin(0,5 \cdot 2,007)} = (-1,947) \quad (65)$$

$$\mathcal{G}_{2,1} = 0$$

$$\mathcal{G}_{2,2} = \frac{p - D}{2 \cdot (s - c)} \cdot \frac{1}{K_2 \cdot [\sigma]},$$

$$\mathcal{G}_{2,2} = \left( \frac{0,76693 - 2,8}{4 \cdot (0,018 - 0,0018)} - 0,005919 \right) \cdot \frac{1}{1,05 \cdot 156,6} = 0,128 \quad (66)$$

Примечание: при  $\mathcal{G}_{2,1} < 0$  в расчёте  $K_1$  знаки  $\mathcal{G}_1$  и  $\mathcal{G}_2$  меняют на противоположные,

$$K_1 = \frac{1 - \mathcal{G}_2^2}{\left( \frac{1}{3} + \mathcal{G}_1 \cdot \mathcal{G}_2 \right) + \sqrt{\left( \frac{1}{3} + \mathcal{G}_1 \cdot \mathcal{G}_2 \right)^2 + (1 - \mathcal{G}_2^2) \cdot \mathcal{G}_1}} = 0,4331 \text{ при } \mathcal{G}_2 = \mathcal{G}_{2,2},$$

$$K_1 = 0,5417 \text{ при } \mathcal{G}_2 = \mathcal{G}_{2,1}.$$

$$K_1 = \min\{ 0,4331, 0,5417 \} = 0,4331.$$

Расчёт в точке 3:

Предельное напряжение изгиба  $[\sigma_i]_3$  считаем по формуле:

$$[\sigma_i]_2 = K_1 \cdot K_2 \cdot [\sigma] = 0,4331 \cdot 1,05 \cdot 250,9 = 71,2 \text{ МПа} \quad (67)$$

Допускаемое опорное усилие от нагружения в окружном направлении:

$$[F]_3 = \frac{0,9 \cdot [\sigma_i]_3 \cdot \sqrt{D \cdot (s - c) \cdot (s - c)}}{K_{10} \cdot K_{12}}, \quad (68)$$

$$[F]_3 = \frac{0,9 \cdot 71,2 \cdot \sqrt{2,8 \cdot (0,018 - 0,0018) \cdot (0,018 - 0,0018)}}{0,25 \cdot 1,023} = 1,528 \cdot 10^6 \text{ Н}$$

Условие прочности:

$$F \leq [F] = \min \{ [F]_2, [F]_3 \},$$

где  $[F] = 1,528 \cdot 10^6$ .

$3,753 \cdot 10^5 \text{ Н} \leq 1,528 \cdot 10^6 \text{ Н}$ . Условие прочности и устойчивости выполнено.

### ***Проверка условия устойчивости***

Эффективное осевое усилие от местных мембранных напряжений определяем по формуле:

$$F_e = F \cdot \frac{\pi}{4} \cdot \sqrt{\frac{D}{(s - c)}} \cdot K_{13} \cdot K_{15},$$

$$F_e = 3,753 \cdot 10^5 \cdot \frac{3,14}{4} \cdot \sqrt{\frac{2,8}{(0,018 - 0,0018)}} \cdot 0,4249 \cdot 0,2474 = 4,074 \cdot 10^5 \text{ Н} \quad (69)$$

Сосуд работает под внутренним давлением, при проверке устойчивости принимают  $p=0$ :

Условие устойчивости определяем по формуле:

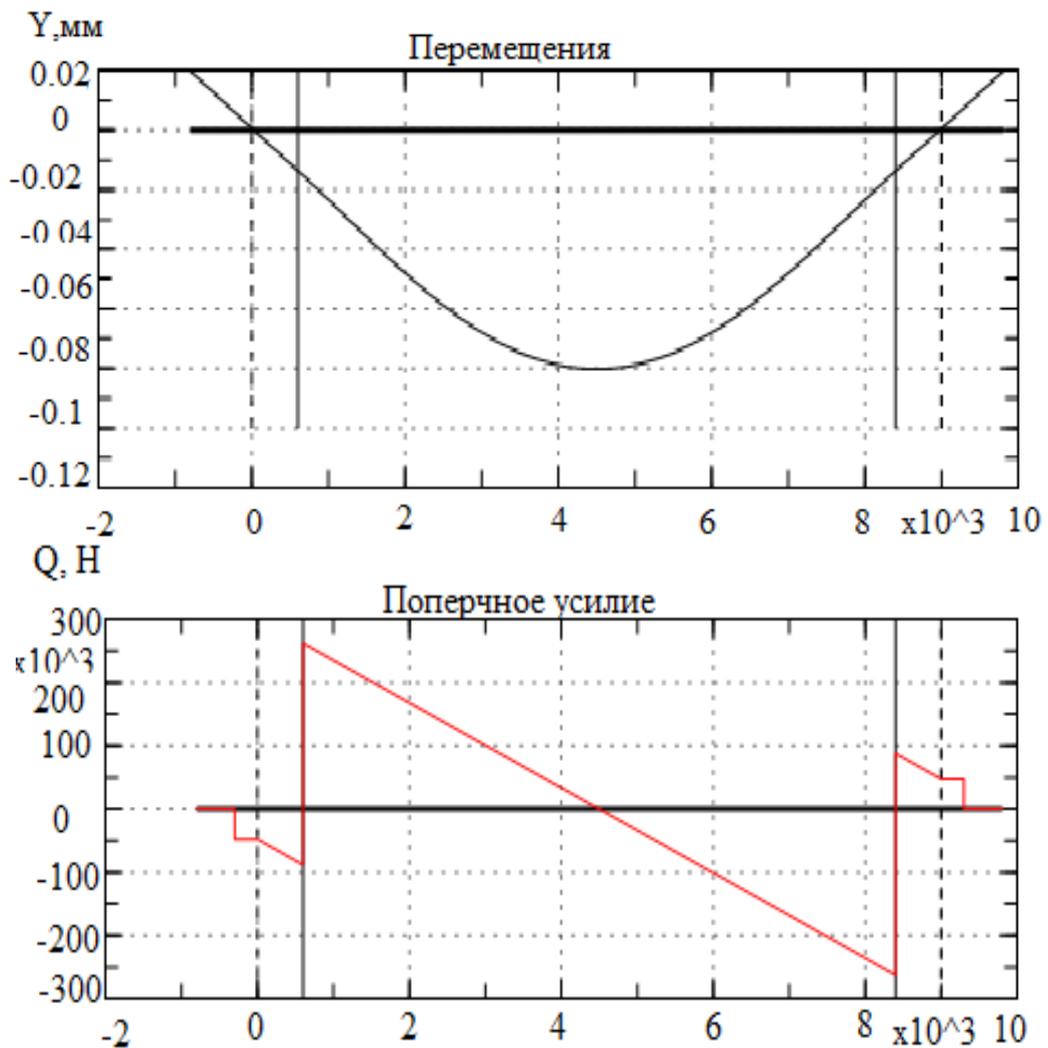
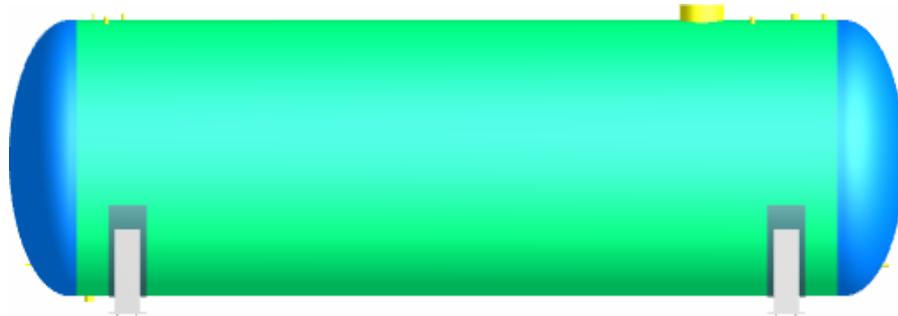
$$\frac{|p|}{[p]} + \frac{F_e}{[F]} + \frac{M}{[M]_{\text{уст}}} + \left( \frac{Q}{[Q]} \right)^2 \leq 1,$$

$$\frac{|p|}{[p]} + \frac{F_e}{[F]} + \frac{M}{[M]_{\text{уст}}} + \left( \frac{Q}{[Q]} \right)^2 = \frac{0}{0,1709} + \frac{4,074 \cdot 10^5}{3,187 \cdot 10^7} + \frac{1,556 \cdot 10^5}{2,289 \cdot 10^7} + \left( \frac{2,825 \cdot 10^5}{7,323 \cdot 10^5} \right)^2$$

$$\frac{|p|}{[p]} + \frac{F_e}{[F]} + \frac{M}{[M]_{уст}} + \left( \frac{Q}{[Q]} \right)^2 = 0,02107$$

0,02107 ≤ 1.0. Условие устойчивости выполнено

### 2.3. Расчёт в условиях испытаний (Гидроиспытания)



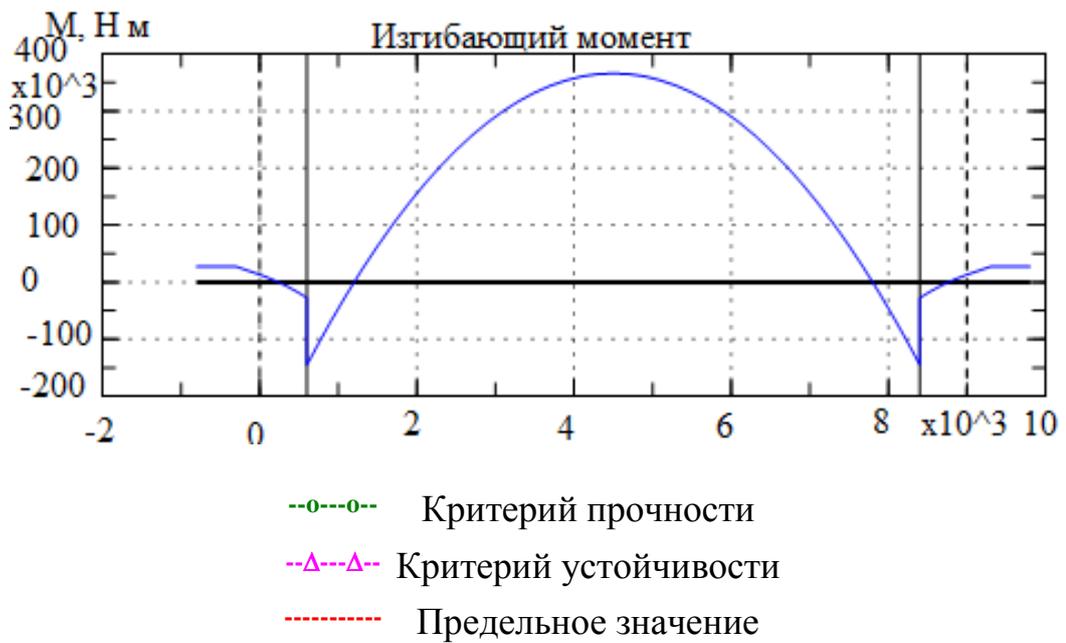


Рисунок 16 - Напряжения, возникающих в стенках обечайки внутреннего сосуда от действия вертикальных нагрузок

Полученные значения сравнивались с допустимыми согласно ГОСТ Р 52857.1-2007 «Сосуды и аппараты. Методы расчета на прочность». Из проведенного сравнения выяснилось, что максимальные расчетные напряжения не превышают величину допустимых значений.

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

Студенту:

Группа	ФИО
3-4E41	Курбанову Улугбеку Айбековичу

<b>Инженерная школа природных ресурсов</b>		<b>Отделение нефтегазового дела</b>	
<b>Уровень образования</b>	Бакалавриат	<b>Направление/специальность</b>	15.03.02 Технологические машины и оборудование нефтяных и газовых промыслов

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

<i>1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	Стоимость материальных затрат: Человеческие ресурсы 2 человека; стоимость 136642 рублей; Материальные затраты 28000 руб.
<i>2. Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	Учитываются следующие нормы и нормативы оплат труда: 30 % премии - за отсутствие недостатков в работе, 1,3 районный коэффициент для расчета заработной платы.
<i>3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	На основании пункта 425 ст. закона 27.11.2017 № 361-ФЗ. 3 для учреждений осуществляющих образовательную и научную деятельность вводится пониженная ставка – 27,1%; Страховые взносы и выплаты, производимые в пользу физических лиц за счет средств, гранта (пункт 1 статьи 420 Налогового кодекса Российской Федерации); Ставка НДС 20%.

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

<i>1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	1. <i>Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.</i> 2. <i>Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований.</i> 3. <i>Определение возможных альтернатив</i>
---	--

	проведения научных исследований, отвечающих современным требованиям в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения.
2. Планирование и формирование бюджета научных исследований	<p>Бюджет научно – технического исследования (НТИ)</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Структура работ в рамках научного исследования.</li> <li>2. Определение трудоемкости выполнения работ.</li> <li>3. Разработка графика проведения научного исследования.</li> <li>4. Бюджет научно-технического исследования.</li> <li>5. Основная заработная плата исполнителей темы.</li> <li>6. Дополнительная заработная плата исполнителей темы.</li> <li>7. Отчисление во внебюджетные фонды.</li> <li>8. Накладные ресурсы.</li> <li>9. Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта.</li> </ol>
3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	- Рассчитан интегральный показатель финансовой эффективности.
<b>Перечень графического материала</b> (с точным указанием обязательных чертежей):	
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Оценка конкурентоспособности технических решений.</li> <li>2. Матрица SWOT.</li> <li>3. Определение возможных альтернатив проведения научных исследований.</li> <li>4. Альтернативы проведения НИ.</li> <li>5. График проведения и бюджет НИ.</li> </ol>	

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

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОСГН ШБИП ТПУ	Трубникова Н.В.	д.и.н доцент		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-4E41	Курбанов Улугбек Айбекович		

### 3. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

#### Введение

Известно, что аварии и отказы происходят в начальный период эксплуатации из-за дефектов монтажа, затем следует период безаварийной работы, а после 15-20 лет эксплуатации количество отказов, аварийных ситуаций резко возрастает, вследствие накопления повреждений, возникших при эксплуатации. Одним из наиболее опасных объектов были и остаются различные виды резервуаров для хранения СПГ. Экономически выгодная эксплуатация резервуара не может быть обеспечена без должного наблюдения за техническим состоянием и своевременным устранением неполадок. Практически каждый из резервуаров представляет собой объект повышенной опасности для персонала предприятия, населения, соседних сооружений и окружающей среды. Также можно отметить, что резервуары, как и любой технический объект, имеют свой ресурс и каждое предприятие стремится повысить экономическую эффективность производства товаров или услуги с наименьшими издержками, что означает отсутствие потерь в использовании ресурсов. [8]

#### 3.1. Потенциальные потребители результатов исследования

Продукт: Резервуар горизонтальный стальной 61,91 м<sup>3</sup>

Целевой рынок: нефтяные и газовые компании.

Таблица 7 -Целевой рынок

		Вид исследования пускового устройства		
		Расчет резервуара	Анализ работы резервуара	Конструирование резервуара
Размер компании	Крупные			
	Средние			
	Мелкие			

 - «Роснефть»  - «Сургутнефтегаз»  - «Транснефть»

В различных исследованиях резервуар горизонтальный стальной необходим в основном крупным компаниям, так как данный резервуар прост в сборке и обслуживании. Крупным компаниям важна простота и долговечность. Для каждого резервуарного парка используют оборудование с разными техническими характеристиками.

Важную роль для конструирования резервуара играет определения прочностных характеристик с помощью нормативных документаций, так как можно смоделировать отклонение от вертикали и посмотреть, как он будет вести себя в рабочем режиме, где будут максимальные нагрузки. На основе расчетов ведется конструирование, учитываются все просчеты для дальнейшем эксплуатировании. [9]

### **3.2. Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения**

Детальный анализ конкурирующих разработок, существующих на рынке, необходимо проводить систематически, поскольку рынки пребывают в постоянном движении. Такой анализ помогает вносить коррективы в научное исследование, чтобы успешнее противостоять своим соперникам. Важно реалистично оценить сильные и слабые стороны разработок конкурентов.

Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения позволяет провести оценку сравнительной эффективности научной разработки и определить направления для ее будущего повышения. Целесообразно проводить данный анализ с помощью оценочной карты.

Таблица 8 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б <sub>ф</sub>	Б <sub>к1</sub>	Б <sub>б</sub>	К <sub>ф</sub>	К <sub>к1</sub>	К <sub>б</sub>
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Срок службы	0,13	3	2	2	0,39	0,26	0,26
2. Ремонтпригодность	0,1	4	2	3	0,4	0,2	0,3
3. Надежность	0,12	3	3	3	0,36	0,36	0,36
4. Простота ремонта	0,1	3	2	1	0,3	0,2	0,1
5. Удобство в эксплуатации	0,08	4	3	3	0,32	0,24	0,24
6. Уровень шума	0,11	4	3	3	0,44	0,33	0,33
Экономические критерии оценки эффективности							
1. Конкурентоспособность продукта	0,03	4	3	2	0,12	0,09	0,06
2. Уровень проникновения на рынок	0,08	4	2	3	0,32	0,16	0,24
3. Цена	0,1	3	3	3	0,3	0,3	0,3
4. Предполагаемый срок эксплуатации	0,07	4	4	4	0,28	0,28	0,28
5. Послепродажное обслуживание	0,06	4	3	3	0,24	0,18	0,18
6. Наличие финансирования поставщиками оборудования	0,02	2	3	2	0,04	0,06	0,04
Итого	1	43	33	32	3,51	2,66	2,69

Б<sub>ф</sub> – Резервуар горизонтальный стальной с эллиптическим днищем;

Б<sub>к1</sub> – Резервуар горизонтальный стальной с коническим днищем;

Б<sub>б</sub> – Резервуар горизонтальный стальной со сферическим днищем.

По таблице 8 видно, что наиболее эффективно использовать резервуар с эллиптическим днищем, так же он является наиболее конкурентоспособным к другому виду, так как обладает рядом преимуществ, например, прост в производстве, удобство в эксплуатации, а также хорошо противостоят перепадам давления и гидродинамическим ударам, что обеспечивает эффективность работы резервуара.

$$K1 = \frac{B_{\phi}}{B_{k1}} = \frac{43}{33} = 1,3, K2 = \frac{B_{\delta}}{B_{k1}} = \frac{32}{33} = 0,9 \quad (70)$$

### 3.3 SWOT – анализ

SWOT – анализ представляет собой комплексный анализ инженерного проекта. Его применяют для того, чтобы перед организацией или менеджером проекта появилась отчетливая картина, состоящая из лучшей возможной информации и данных, а также сложилось понимание внешних сил, тенденций и подводных камней, в условиях которых научно-исследовательский проект будет реализовываться.[10]

В первом этапе обычно описываются сильные и слабые стороны проекта, а также возможности и угрозы для реализации проекта, которые проявились или могут появиться в его внешней среде.

#### 1. Сильные стороны проекта:

- Высокая экономичность технологии.
- Экономичность технологии.
- Повышение безопасности производства.
- Уменьшение затрат на ремонт оборудования.

#### 2. Слабые стороны проекта:

- Трудность внедрения функции.
- Отсутствие на предприятии собственного специалиста, способного произвести внедрение функции.

#### 3. Возможности:

- Повышение эффективности работы предприятия за счет модернизации.
- Сокращение расходов.
- Качественное обслуживание потребителей.
- Сокращение времени простоев.

#### 4. Угрозы проекта:

- Отсутствие спроса на новые производства;
- Снижение бюджета на разработку;
- Высокая конкуренция в данной отрасли.

Интерактивная матрица проекта представлена в таблице 9, таблице 10, таблице 11, таблице 12.

Таблица 9 – Интерактивная матрица возможностей и сильных сторон проекта

Сильные стороны проекта					
Возможности проекта		C1	C2	C3	C4
	V1	+	+	-	0
	V2	-	-	+	-
	V3	-	0	-	0

При анализе данной интерактивной таблицы можно выделить следующие сильно коррелирующие возможности и сильные стороны проекта: V1C1C2, V2C3.

Таблица 10 – Интерактивная матрица возможностей и слабых сторон проекта

Слабые стороны проекта				
Возможности проекта		Сл1	Сл2	Сл3
	V1	+	-	0
	V2	-	0	-
	V3	-	-	0

При анализе данной интерактивной таблицы можно выделить следующие сильно коррелирующие возможности и слабые стороны проекта: V1Сл1.

Таблица 11 – Интерактивная матрица угроз и сильных сторон проекта

Сильные стороны проекта					
Угрозы проекта		C1	C2	C3	C4
	У1	+	+	-	0
	У2	-	-	-	-
	У3	+	+	0	0

При анализе данной интерактивной таблицы можно выделить следующие сильно коррелирующие угрозы и сильные стороны проекта: У1У3С1С2.

Таблица 12 – Интерактивная матрица угроз и слабых сторон проекта

Слабые стороны проекта				
Угрозы проекта		Сл1	Сл2	Сл3
	У1	+	-	0
	У2	-	0	-
	У3	-	-	0

При анализе данной интерактивной таблицы можно выделить следующие сильно коррелирующие угрозы и сильные стороны проекта: У1Сл1.

В рамках третьего этапа составляем итоговую матрицу SWOT-анализа (таблица 13).

Таблица 13 – Матрица SWOT

	<p><b>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</b></p> <p>С1.Высокая экономичность технологии. С2.Экономичность технологии. С3.Повышение безопасности производства. С4.Уменьшение затрат на ремонт оборудования</p>	<p><b>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</b></p> <p>Сл1.Трудность внедрения функции. Сл2. Отсутствие на предприятии собственного специалиста, способного произвести внедрение функции.</p>
<p><b>Возможности:</b></p> <p>В1.Повышение эффективности работы предприятия за счет модернизации. В2.Сокращение расходов. В3.Качественное обслуживание потребителей. В4.Сокращение времени простоев.</p>	<p>–Достижение повышения производительности агрегатов. –Исключение поломок оборудования в результате сбоев в электроснабжении. –Своевременная поставка природного газа потребителям.</p>	<p>1. Поиск заинтересованных лиц 2.Разработка научного исследования 3.Принятие на работу квалифицированного специалиста. 4.Переподготовка имеющихся специалистов</p>

<b>Угрозы:</b> У1:Отсутствие спроса на новые производства; У2:Снижение бюджета на разработку; У3:Высокая конкуренция в данной отрасли.	1.Отсутствие спроса на новые технологии производства. 2. Доработка проекта 3.Сложность реализации проекта.	1.Приобретение необходимого оборудования опытного испытания 2. Остановка проекта. 3.Проведения других проектов
---	--	--

### 3.4 Технология QuaD

Технология QuaD (QUality ADvisor) представляет собой гибкий инструмент измерения характеристик, описывающих качество новой разработки и ее перспективность на рынке и позволяющие принимать решение целесообразности вложения денежных средств в научно-исследовательский проект. [11]

Таблица 14 - Оценочная карта

Критерии оценки	Вес критерия	Бал-лы	Максимальный балл	Относительное значение (3/4)	Средневзвешенное значения (5x2)
1	2	3	4	5	
<b>Показатели оценка качества разработки</b>					
1. Повышение производительности труда пользователя	0.07	65	100	0.65	0.0455
2. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0.13	75	100	0.75	0.0975
3.Устойчивость	0.03	50	100	0.5	0.015
4.Энергоэкономичность	0.1	70	100	0.7	0.07
5.Надежность	0.2	100	100	1	0.2

6. Простота в производстве	0.04	40	100	0.4	0.016
<b>Показатели оценки коммерческого потенциала разработки</b>					
7. Продукт	0.03	70	100	0.7	0.021
8. Уровень проникновения на рынок	0.04	80	100	0.7	0.032
9. Цена	0.06	45	100	0.45	0.027
10. Предполагаемый срок эксплуатации	0.1	100	100		0.1
Итого :	1	695	100	6.95	0.624

Оценка качества и перспективности по технологии QuaD определяется по формуле:

$$P_{cp} = \sum B_i \cdot B_i \quad (71)$$

где  $P_{cp}$  – средневзвешенное значение показателя качества и перспективности научной разработки;

$B_i$  – вес показателя (в долях единицы);

$B_i$  – средневзвешенное значение  $i$ -го показателя.

Значение  $P_{cp}$  - позволяет говорить о перспективах разработки и качестве проведенного исследования. Если значение показателя  $P_{cp}$ - получилось от 100 до 80, то такая разработка считается перспективной. Если от 79 до 60 – то перспективность выше среднего. Если от 69 до 40 – то перспективность средняя. Если от 39 до 20 – то перспективность ниже среднего. Если 19 и ниже – то перспективность крайне низкая.

$$P_{cp} = 75,9$$

Данное значение лежит в интервале от 60 до 79, следовательно, перспективность разработки проекта модернизации – выше среднего.

### 3.5 Определение возможных альтернатив проведения научных исследований

Морфологический подход основан на систематическом исследовании всех теоретически возможных вариантов, вытекающих из закономерностей строения (морфологии) объекта исследования.

Реализация метода предусматривает следующие этапы.

1. Точная формулировка проблемы исследования: определения прочностных характеристик резервуара.

2. Раскрытие всех важных морфологических характеристик объекта исследования.

3. Раскрытие возможных вариантов по каждой характеристике. В рамках этого этапа составляется морфологическая матрица. Результаты морфологической матрицы для резервуара приведен в таблице 15.

Таблица 15 - Морфологическая матрица для резервуара

	1	2	3	4
А. По расположению	Наземный	Полуподземный	Подземный	Подводный
Б. Материал	Железобетонная	Металлическая	Неметаллическая	
В. Форма	Цилиндрическая	Сферическая	Каплевидная	
Г. Днища	Сферический	Эллиптический	Конический	
Д. Обечайка	С фланцем	Жесткими перегородками	Плоская	
Е. Штуцер	Цилиндрический	Овальный		
Ж. Укрепление	Проходная	Отбортованная		

штуцера				
---------	--	--	--	--

Выбор наиболее желательных функционально конкретных решений. На этом этапе описываются возможные варианты решения поставленной проблемы с позиции ее функционального содержания и ресурсосбережения. Можно предложить следующие варианты: А1Б2В1Г2Д3Е1Ж1; А2Б2В2Г3Д1Е2Ж2; А3Б2В1Г1Д3Е3Ж1.

### 3.6. Планирование научно-исследовательских работ

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

- определение структуры работ в рамках научного исследования;
- определение участников каждой работы;
- установление продолжительности работ;
- построение графика проведения научных исследований.

Для выполнения научных исследований формируется рабочая группа, в состав которой могут входить научные сотрудники и преподаватели, инженеры, техники и лаборанты, численность групп может варьироваться. По каждому виду запланированных работ устанавливается соответствующая должность исполнителей. В данном разделе необходимо составить перечень этапов и работ в рамках проведения научного исследования, провести распределение исполнителей по видам работ. Примерный порядок составления этапов и работ, распределение исполнителей по данным видам работ приведен в таблице 16.[12]

Таблица 16– Перечень этапов, работ и распределение исполнителей.

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Выбор темы исследований	1	Календарное планирование работ по теме	Руководитель, исполнитель
	2	Выбор алгоритма исследований	Руководитель

	3	Подбор и изучение литературы по теме	Исполнитель
Разработка тех. задания	4	Составление и утверждение тех. задания	Руководитель
Теоретические и экспериментальные исследования	5	Проведение теоретических расчетов и обоснование	Исполнитель
	6	Проектирование модели и проведение экспериментов	Исполнитель
Обобщение и оценка результатов	7	Оценка результатов исследования	Руководитель, Исполнитель
Оформление отчета по исследовательской работе	8	Составление пояснительной записки	Руководитель, Исполнитель

### *Определение трудоемкости выполнения работ*

Для построения линейного графика необходимо рассчитать длительность этапов в рабочих днях, а затем перевести в календарные дни.

Расчет продолжительности выполнения каждого этапа в рабочих днях выполняется по формуле:

$$T_{РД} = \frac{t_{ож}}{K_{ВН}} \cdot K \quad (73)$$

где  $t_{ож}$  – трудоемкость работы, чел/дн;

$K_{ВН}$  – коэффициент выполнения работ ( $K_{ВН} = 1$ );

$K_{Д}$  – коэффициент, учитывающий дополнительное время на компенсации и согласование работ ( $K_{Д} = 1,2$ ).

Расчет продолжительности этапа в календарных днях ведется по формуле:

где  $t_{ож}$  – трудоемкость работы, чел/дн;

$K_{ВН}$  – коэффициент выполнения работ ( $K_{ВН} = 1$ );

$K_{Д}$  – коэффициент, учитывающий дополнительное время на компенсации и согласование работ ( $K_{Д} = 1,2$ ).

Расчет продолжительности этапа в календарных днях ведется по формуле:

$$T_{\text{КД}} = T_{\text{РД}} \cdot T_{\text{К}}, \quad (74)$$

где  $T_{\text{РД}}$  – продолжительность выполнения этапа в рабочих днях;  
 $T_{\text{КД}}$  – продолжительность выполнения этапа в календарных днях;  
 $T_{\text{К}}$  – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности рассчитывается по формуле:

$$T_{\text{К}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{ВД}} - T_{\text{ПД}}}, \quad (75)$$

где  $T_{\text{КАЛ}}$  – календарные дни ( $T_{\text{КАЛ}} = 365$ );  
 $T_{\text{ВД}}$  – выходные дни ( $T_{\text{ВД}} = 104$ );  
 $T_{\text{ПД}}$  – праздничные дни ( $T_{\text{ПД}} = 14$ ).

$$T_{\text{К}} = \frac{365}{365 - 118} = 1.478,$$

Для расчета ожидаемого значения продолжительности работ  $t_{\text{ож}}$  применяется две оценки:  $t_{\text{min}}$  и  $t_{\text{max}}$  (метод двух оценок).

$$t_{\text{ож}} = \frac{3t_{\text{min}} + 2t_{\text{max}}}{5} \quad (76)$$

где  $t_{\text{min}}$  – минимальная трудоемкость работ, чел/дн;  
 $t_{\text{max}}$  – максимальная трудоемкость работ, чел/дн.

Из расчета ожидаемой трудоемкости работ, определим продолжительность каждой работы в рабочих днях  $T_{\text{р}i}$  учитывая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями:

$$T_{\text{р}i} = \frac{T_{\text{ож}i}}{\text{Ч}i} \quad (77)$$

где  $T_{\text{р}i}$  – продолжительность одной работы, раб. дн;  
 $T_{\text{ож}i}$  – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн;  
 $\text{Ч}i$  – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

Для построения диаграммы Ганта, переведем длительность каждого из этапов работ в календарные дни:

$$T_{\text{К}i} = T_{\text{р}i} \cdot T_{\text{К}} \quad (78)$$

где  $T_{\text{К}i}$  – продолжительность выполнения  $i$ -й работы в календарных днях;

$T_{pi}$  – продолжительность выполнения  $i$ -й работы в рабочих днях;

$T_k$  – коэффициент календарности.

Таблица 17 – Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоемкость работ			Исполнители	Длительность работ в рабочих днях, $T_{pi}$	Длительность работ в календарных днях, $T_{ki}$
	$t_{min}$ , Чел-дни	$t_{max}$ , Чел-дни	$t_{ож}$ , Чел-дни			
Календарное планирование работ по теме	3	6	4,2	Руководитель, Исполнитель	2	3
Составление и утверждение тех. Задания	1	3	1,8	Руководитель	2	3
Подбор и изучение материалов по теме	10	15	12	Исполнитель	12	16
Согласование материалов по теме	5	8	6,2	Руководитель	6	8
Проведение теоретических расчетов и обоснование	6	18	10	Исполнитель	10	13
Проектирование 3D модели резервуара	3	12	6,6	Исполнитель	7	9
Оценка результатов исследования	3	5	3,8	Руководитель, Исполнитель	2	3
Составление пояснительной записки	7	16	11,4	Руководитель, Исполнитель	6	8

Итого	38	83	56		47	63
-------	----	----	----	--	----	----

На основе таблицы строим план график, представленный в таблице 18.

Таблица 18 - Календарный план график проведения НИР по теме

№	Вид работ	Исполнители	Т <sub>кп</sub> , кал. дни	Продолжительность выполнения работ															
				Фев.		Март			Апрель			Май							
				2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3					
1	Составление и утверждение задания тех.	Р	3																
2	Подбор и изучение материалов по теме	И	18																
3	Согласование материалов по теме	Р	9																
4	Календарное планирование работ по теме	Р, И	3																
5	Проведение теоретических расчетов и обоснование	И	15																
6	Проектирование 3D модели резервуара	И	10																
7	Оценка результатов исследования	Р, И	3,8																
8	Составление пояснительной записки	Р, И	9																



- руководитель



- исполнитель

### 3.7. Бюджет научно-технического исследования

В состав бюджета выполнения работ по научно-технической работе включает вся себя стоимость всех расходов, необходимых для их выполнения. При формировании бюджета используется группировка затрат по следующим статьям:

- основная заработная плата исполнителей темы;
- дополнительная заработная плата исполнителей темы;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- накладные расходы.

#### *Расчет материальных затрат*

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$Z_M = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m C_i + N_{\text{рас } xi} \quad (79)$$

где  $m$  – количество видов материальных ресурсов, потребляемых при выполнении научного исследования;

$N_{\text{рас } xi}$  – количество материальных ресурсов  $i$ -го вида, планируемых к использованию при выполнении научного исследования (шт., кг, м, м<sup>2</sup> и т.д.);

$C_i$  – цена приобретения единицы  $i$ -го вида потребляемых материальных ресурсов (руб./шт., руб./кг, руб./м, руб./м<sup>2</sup> и т.д.);

$k_T$  – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы.

Все необходимое оборудование и затраты на его приобретение представлены в таблице 19.

Для проведения научного исследования нам необходим компьютер, с установленными на него специальными программами и с нужным нам программным обеспечением.

Затраты на покупку компьютера:

$$Z = d_k + d_{no} = 25000 + 3000 = 28000, \quad (80)$$

где  $d_k$  – стоимость компьютера;  $d_{no}$  – стоимость программного обеспечения.

Установка специальных программ для исследования и моделирования объекта производится бесплатно.[13]

Таблица 19 – Материальные затраты.

Наимен.	Ед. из.	Количество			Цена за ед., тыс. руб.			Материальные затраты, $Z_m$ тыс. руб		
		Исп 1	Исп 2	Исп 3	Исп 1	Исп 2	Исп 3	Исп 1	Исп 2	Исп 3
Компьютер	шт	1	1	1	25	25	25	25	25	25
Програмное обеспечение	шт	1	1	1	3	3	3	3	3	3
Итого								28	28	28

### ***Основная заработная плата исполнителей темы***

По данной статье расходов планируется и учитывается основная заработная плата исполнителей, непосредственно участвующих в разработке проекта модернизации:

$$C_{осн\ зп} = \sum t_i \cdot C_{зп_i}, \quad (81)$$

где  $t_i$  - затраты труда, необходимые для выполнения  $i$ -го вида работ, в рабочих днях;  $C_{зп_i}$  - среднедневная заработная плата работника, выполняющего  $i$ -ый вид работ, (руб./день).

Среднедневная заработная плата определяется по формуле:

$$C_{зп_i} = \frac{D+D \cdot K}{F}, \quad (82)$$

где  $D$  – месячный оклад работника (в соответствии с квалификационным уровнем профессиональной квалификационной группы);

$K$  - районный коэффициент (для Томской области – 30%);

$F$  – количество рабочих дней в месяце (в среднем 22 дня).

Расходы на основную заработную плату определяются как произведение трудоемкости работ каждого исполнителя на среднедневную заработную плату.

Таблица 20 – Расчет основной заработной платы

№	Наименование этапов	Исполнители по категориям	Трудоемкость, чел.-дн.			Заработная плата, приходящаяся на один чел.-дн., тыс. руб.	Всего заработная плата по тарифу, тыс. руб.		
			Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3		Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3
1	Календарное планирование работ по теме	Руководитель, Исполнитель	2	3	2	1,16	2,32	3,48	2,32
2	Выбор темы исследований	Руководитель	7	9	8	0,93	6,51	8,37	7,44
3	Составление и утверждение тех. задания	Руководитель	2	2	2	0,93	1,86	1,86	1,86
4	Подбор и изучение материалов по теме	Исполнитель	12	12	12	0,23	2,76	2,76	2,76
5	Проведение теоретических расчетов и обоснование	Исполнитель	8	9	9	0,23	1,84	2,07	2,07
6	Проектирование 3D модели резервуара	Исполнитель	6	9	8	0,23	1,38	2,07	1,84
7	Оценка результатов исследования	Руководитель, Исполнитель	4	5	6	1,16	4,64	5,8	6,96
8	Составление пояснительной записки	Руководитель, Исполнитель	5	5	5	1,16	5,8	5,8	5,8
Итого:							27,1 1	32,21	31,05

Настоящая статья включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением научно-технического исследования, (включая премии, доплаты) и дополнительную заработную плату:

$$Z_n = Z_{осн} + Z_{доп}, \quad (83)$$

где  $Z_{осн}$  – основная заработная плата;

$Z_{доп}$  – дополнительная заработная плата (12-20 % от  $Z_{осн}$ ).

Руководитель  $Z_n = 53480 + 6952 = 60432$  рублей

Исполнитель  $Z_n = 41660 + 5416 = 47076$  рублей

Основная заработная плата ( $Z_{осн}$ ) руководителя (лаборанта, инженера) от предприятия (при наличии руководителя от предприятия) рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{осн} = T_p \cdot Z_{дн}, \quad (84)$$

Основная заработная плата руководителя:

$$Z_{осн} = 2674 \cdot 20 = 53480 \text{ рублей,}$$

Основная заработная плата студента:

$$Z_{осн} = 1126 \cdot 37 = 41660 \text{ рублей,}$$

где  $Z_{осн}$  – основная заработная плата одного работника;

$T_p$  – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн.;

$Z_{дн}$  – среднедневная заработная плата работника, руб.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{дн} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d} \quad (85)$$

Среднедневная заработная плата руководителя в рублях.

$$Z_{дн} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d} = \frac{51413 \cdot 10,1}{185} = 2661 \text{ руб}$$

Среднедневная заработная плата студента в рублях.

$$Z_{дн} = \frac{18959 \cdot 10,1}{175} = 1126 \text{ руб}$$

где  $Z_m$  – месячный должностной оклад работника, руб.;

$M$  – количество месяцев работы без отпуска в течение года: при отпуске в 24 раб. дня  $M=11,2$  месяца, 5-дневная неделя; при отпуске в 48 раб. дней  $M=10,1$  месяца, 6-дневная неделя;

$F_d$  – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн. [14]

Таблица 21 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Исполнитель
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней: - выходные - праздничные	118	118
Потери рабочего времени: - отпуск - невыходы по болезни	62	72
Действительный годовой фонд рабочего времени	185	175

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_m = Z_{mc} \cdot (1 + k_{np} + k_o) \cdot k_p, \quad (86)$$

Зарплата руководителя:

$$23264 \cdot (1 + 0,2 + 0,3) \cdot 1,3 = 51413 \text{ руб.}$$

Зарплата студента:

$$14584 \cdot (1 + 0,2 + 0,3) \cdot 1,3 = 18959 \text{ руб.,}$$

где  $Z_{mc}$  – заработная плата по тарифной ставке, руб.;

$k_{np}$  – премиальный коэффициент, равный 0,3 (т.е. 30% от  $Z_{mc}$ );

$k_o$  – коэффициент доплат и надбавок составляет примерно 0,2 - 0,5 (в НИИ и на промышленных предприятиях – за расширение сфер обслуживания, за профессиональное мастерство, за вредные условия: 15- 20 % от  $Z_{mc}$ );

$k_p$  – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томской области).

Тарифная заработная плата  $Z_{mc}$  находится из произведения тарифной ставки работника 1-го разряда  $T_{ci} = 600$  руб. на тарифный коэффициент  $k_m$  и учитывается по единой для бюджетной организации тарифной сетке.

За основу оклада берется ставка работника ТПУ, согласно занимаемой должности. Из таблицы окладов для доцента (степень – кандидат наук) – 23264 руб., для ассистента (степень отсутствует) – 14584 руб.[15]

Таблица 22 – Расчет основной заработной платы для исполнения 1

Исполнители	Зтс, тыс. руб.	кпр	кд	кр	Зм, тыс. руб.	Здн, тыс. руб.	Тр, раб. дн.	Зосн, тыс. руб.
Руководитель	23264	0,3	0,4	1,3	51413	2,661	20	53,48
Исполнитель	14584	0	0	1,3	18959	1,126	37	41,66
Итого:								95,14

Таблица 23 – Расчет основной заработной платы для исполнения 2

Исполнители	Зтс, тыс. руб.	кпр	кд	кр	Зм, тыс. руб.	Здн, тыс. руб.	Тр, раб. дн.	Зосн, тыс. руб.
Руководитель	23264	0,3	0,4	1,3	51413	2,674	24	64,18
Исполнитель	14584	0	0	1,3	18959	1,126	43	48,41
Итого:								112,59

Таблица 24 – Расчет основной заработной платы для исполнения 3

Исполнители	Зтс, тыс. руб.	кпр	кд	кр	Зм, тыс. руб.	Здн, тыс. руб.	Тр, раб. дн.	Зосн, тыс. руб.
Руководитель	23264	0,3	0,4	1,3	51413	2,674	28	74,87
Исполнитель	14584	0	0	1,3	18959	1,126	49	55,17
Итого:								130,04

Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы учитывают величину предусмотренных Трудовым кодексом РФ доплат за

отклонение от нормальных условий труда, а также выплат, связанных с обеспечением гарантий и компенсаций (при исполнении государственных и общественных обязанностей, при совмещении работы с обучением, при предоставлении ежегодного оплачиваемого отпуска и т.д.).

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн} = 0,13 \cdot 53480 = 6952 \text{ руб}; \quad (87)$$

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн} = 0,13 \cdot 41660 = 5416 \text{ руб}.$$

где  $k_{доп}$  – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимается равным 0,12 – 0,15).

Для исполнения 2 расчет дополнительной заработной платы составит:

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн} = 0,13 \cdot 64180 = 8343 \text{ руб};$$

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн} = 0,13 \cdot 48410 = 6293 \text{ руб}.$$

Для исполнения 3 расчет дополнительной заработной платы составит:

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн} = 0,13 \cdot 74870 = 9733 \text{ руб};$$

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн} = 0,13 \cdot 55170 = 7172 \text{ руб}.$$

### ***Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)***

В данной статье расходов отражаются обязательные отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС) от затрат на оплату труда работников.

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$Z_{внеб} = k_{внеб} \cdot (Z_{осн} + Z_{доп}) = 0,271 \cdot (53480 + 6952) = 16377 \text{ руб}, \quad (88)$$

где  $k_{внеб}$  – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.). На 2014 г. в соответствии с Федеральным законом от 24.07.2009 №212-ФЗ установлен размер страховых взносов равный 30%. На основании пункта 1

ст.58 закона №212-ФЗ для учреждений, осуществляющих образовательную и научную деятельность, в этом году водится пониженная ставка – 27,1%.

Таблица 25 – Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата, тыс. руб			Дополнительная заработная плата, тыс. руб			Отчисления во внебюджетные фонды		
	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3
Руководитель	53,48 0	64,180	74,870	6,952	8,343	9,733	16,3 77	19,65 3	22,92 7
Исполнитель Проекта	41,66 0	48,410	55,170	5,416	6,293	7,172	12,7 57	14,82 4	16,89 4
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды									
0,271									
Итого:									
							29,13 4	34,47 8	39,82 2

Итоговая заработная плата для 1-го варианта:

$53480+41660+6952+5416+16377+12757=136642$  руб.

### ***Накладные расходы***

Величина накладных расходов определяется по формуле:

$$Z_{накл} = (\text{сумма статей } 1 \div 7) \cdot k_n \quad (89)$$

$Z_{накл}(1)=(Z_m+Z_{осн}+Z_{доп}+Z_{внеб}) \cdot 0,16=(28000+53480+6952+16377) \cdot 0,16=16769,44$   
руб.,

$Z_{накл}(2)=(Z_m+Z_{осн}+Z_{доп}+Z_{внеб}) \cdot 0,16=(28000+64180+8343+19653) \cdot 0,16=19973,6$   
руб.,

$Z_{накл}(3)=(Z_m+Z_{осн}+Z_{доп}+Z_{внеб}) \cdot 0,16=(28000+74870+9733+22922) \cdot 0,16=21684$  руб.,

где  $k_{нр}$  – коэффициент, учитывающий накладные расходы принимаем 16%.

### ***Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта***

Рассчитанная величина затрат научно-исследовательской работы (темы) является основой для формирования бюджета затрат проекта, который при формировании договора с заказчиком защищается научной организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку научно-технической продукции.

Таблица 26 – Расчет бюджета затрат НТИ

Наименование статьи	Сумма, руб. (исполнение 1)	Сумма, руб. (исполнение 2)	Сумма, руб. (исполнение 3)	Примечание
1. Материальные затраты	28000	28000	28000	
2. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	95140	112590	130040	
3. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	12368	14636	16905	
4. Отчисления во внебюджетные фонды	29134	34478	39822	0,16%
5. Накладные расходы	16769,44	19973,6	21684	
Бюджет затрат НТИ	181411,44	209677,6	236451	Сумма ст. 1-6

### 3.8. Определение ресурсоэффективности проекта

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Его нахождение связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности. Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования получают в ходе оценки бюджета затрат трех (или более) вариантов исполнения научного исследования.

Для этого наибольший интегральный показатель реализации технической задачи принимается за базу расчета (как знаменатель), с которым соотносятся финансовые значения по всем вариантам исполнения.

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп}i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}}, \quad (90)$$

где  $I_{\text{финр}}^{\text{исп}i}$  – интегральный финансовый показатель разработки;

$\Phi_{pi}$  – стоимость  $i$ -го варианта исполнения;

$\Phi_{\text{max}}$  – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта (в т.ч. аналоги).

Для 1-ого варианта исполнения имеем:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп}1} = \frac{181411,44}{236451} = 1,3.$$

Для 2-ого варианта имеем:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп}2} = \frac{209677,6}{236451} = 1,127.$$

Для 3-ого варианта имеем:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп}3} = \frac{236451}{236451} = 1.$$

Полученная величина интегрального финансового показателя разработки отражает соответствующее численное увеличение бюджета затрат разработки в размах (значение больше единицы), либо соответствующее численное удешевление стоимости разработки в размах (значение меньше единицы, но больше нуля).

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования можно определить следующим образом:

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i, \quad (91)$$

где  $I_{pi}$  – интегральный показатель ресурсоэффективности;

$a_i$  – весовой коэффициент разработки;

$b_i$  – балльная оценка разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания.

Таблица 27 – Сравнительная оценка характеристик проекта

Критерии	Весовой коэф.	Резервуар вертикальный стальной (исп. 1)	Резервуар вертикальный стальной с понтоном (исп. 2)	Резервуар вертикальный стальной с плавающей крышей (исп. 3)
1. Безопасность	0,1	5	4	4
2. Удобство в эксплуатации	0,15	4	3	4
3. Срок службы	0,15	5	3	3
4. Ремонтопригодность	0,20	5	3	5
5. Надёжность	0,25	4	4	4
6. Материалоёмкость	0,15	5	4	3
Итого:	1	4,6	3,05	3,9

Рассчитываем показатель ресурсоэффективности:

$$I_p - \text{исп1} = 0,1 \cdot 5 + 0,15 \cdot 4 + 0,15 \cdot 5 + 0,2 \cdot 5 + 0,25 \cdot 4 + 0,15 \cdot 5 = 4,6$$

$$I_p - \text{исп2} = 0,1 \cdot 4 + 0,15 \cdot 3 + 0,15 \cdot 3 + 0,2 \cdot 3 + 0,25 \cdot 4 + 0,15 \cdot 4 = 3,05$$

$$I_p - \text{исп3} = 0,1 \cdot 4 + 0,15 \cdot 4 + 0,15 \cdot 3 + 0,2 \cdot 5 + 0,25 \cdot 4 + 0,15 \cdot 3 = 3,9$$

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки ( $I_{испi}$ ) определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{исп.1} = \frac{I_{p-исп1}}{I_{финр}^{исп.1}}; \quad I_{исп.2} = \frac{I_{p-исп2}}{I_{финр}^{исп.2}}; \quad I_{исп.3} = \frac{I_{p-исп3}}{I_{финр}^{исп.3}};$$

$$I_{исп1} = 5,24; \quad I_{исп2} = 3,05; \quad I_{исп3} = 3,93.$$

Сравнение интегрального показателя эффективности вариантов исполнения разработки позволит определить сравнительную эффективность проекта и выбрать наиболее целесообразный вариант из предложенных. [16]

Сравнительная эффективность проекта ( $\mathcal{E}_{срi}$ ):

$$\mathcal{E}_{срi} = \frac{I_{испi}}{I_{исп\ min}}, \quad (92)$$

$$\mathcal{E}_{ср1} = 1,72; \quad \mathcal{E}_{ср2} = 1; \quad \mathcal{E}_{ср3} = 1,29.$$

Таблица 28 – Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,878	1	0,993
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,6	3,05	3,9
3	Интегральный показатель эффективности	5,24	3,05	3,93
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1,72	1	1,29

Показатель ресурсоэффективности проекта имеет высокое значение, что говорит об эффективности использования технического проекта.

Таким образом, резервуар вертикальный стальной остается эффективным и сохраняет конкурентоспособность.

В ходе выполнения данной части выпускной работы была доказана конкурентоспособность данного технического решения, был произведен SWOT-анализ. Также был посчитан бюджет НИИ, основная часть которого приходится на материальные затраты, связанные с приобретением

спецоборудования. Все, вышеперечисленные технико-экономические показатели проекта, позволяют сделать вывод о том, что данная конструкция резервуара экономически выгодна.

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА  
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
3-4E41	Курбанов Улугбек Айбекович

<b>Школа</b>	Инженерная школа природных ресурсов	<b>Отделение школы (НОЦ)</b>	ОНД
<b>Уровень образования</b>	Бакалавриат	<b>Направление/специальность</b>	15.03.02. Технологические машины и оборудование

<b>Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:</b>	
<p><i>1. Описание рабочего места (рабочей зоны, технологического процесса, механического оборудования) на предмет возникновения:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- вредных проявлений факторов производственной среды (метеоусловия, вредные вещества, освещение, шумы, вибрации, электромагнитные поля, ионизирующие излучения)</li> <li>- опасных проявлений факторов производственной среды (механической природы, термического характера, электрической, пожарной и взрывной природы)</li> <li>- негативного воздействия на окружающую природную среду (атмосферу, гидросферу, литосферу)</li> <li>- чрезвычайных ситуаций (техногенного, стихийного, экологического и социального характера)</li> </ul>	<p><i>Объектом исследования является резервуарный парк для хранения сжиженного природного газа. Область применения нефтегазовая отрасль.</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-недостаточная освещенность рабочего места;</li> <li>-повышенный уровень шума;</li> <li>-отклонение параметров климата на открытом воздухе;</li> <li>-опасность термических ожогов во время сварки при строительстве;</li> <li>-опасность поражения электрическим током;</li> <li>-опасность механических повреждений;</li> <li>-загрязнение атмосферного воздуха машинами и механизмами;</li> <li>-различные чрезвычайные ситуации природного характера выбросы метана;-загрязнение водных ресурсов производственными отходами;</li> <li>-загрязнение земель отходами производства;</li> <li>-взрыв продукта;</li> <li>- пожароопасность;</li> <li>- взрывоопасность.</li> </ul>
<p><i>2. Перечень законодательных и нормативных документов по теме</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-ОСТ 51.81.82 ССБТ «Охрана труда в газовой промышленности»</li> <li>-Пожарная охрана предприятий. Общие требования. НБТ - 201-96, утв. 01.03.1992г.</li> <li>-Правила пожарной безопасности РФ ППБ-01-93. МВД РФ 14.12.1993 г., дополнения к ним от 25.07.1995 г.</li> </ul>

<b>Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:</b>	
<p>1. Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды 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 (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства)</li> </ul>	<p>Анализ вредных факторов: Повышенный уровень шума на рабочем месте:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-источникам шумового загрязнения при строительстве относят: силовую установку, системы выпуска отработанных газов и впуска воздуха, системы гидравлики, трансмиссии, цепные и зубчатые передачи, рабочие органы строительной техники.</li> </ul> <p>Основными источниками постоянного шума на промплощадке во время эксплуатации являются:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-компрессоры;</li> <li>-насосы;</li> <li>-теплообменная аппаратура;</li> <li>-паротурбинные генераторы; градирня.</li> </ul> <p>Повышенный уровень вибрации:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-разные машины и агрегаты создающие вибрацию во время строительства и эксплуатации:</li> </ul> <p>Нормативные документы:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-ГОСТ 12.1.003-14 ССБТ Шум. Общие требования</li> <li>-ГОСТ 12.1.029-80 ССБТ Средства и методы защиты от шума. Общие требования.</li> <li>-ГОСТ 12.1.012-2004 ССБТ Вибрационная безопасность. Общие требования.</li> <li>-средства коллективной защиты глушители шумов, калориферы, защитные кожуха;</li> <li>-индивидуальные средства защиты спецодежда, самоспасатель, респиратор, рукавицы, очки, беруши, каска, сапоги.</li> </ul>
<p>2. Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– механические опасности (источники, средства защиты);</li> <li>– термические опасности (источники, средства защиты);</li> <li>– электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты);</li> <li>– пожаровзрывобезопасность (причины,</li> </ul>	<p>Анализ опасных факторов:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-получения травм на рабочем месте.</li> <li>-источники различные вращательные механизмы – средства защиты защитные ограждения, кожуха, предупреждающие знаки;</li> <li>-получение различных ожогов во время сварочных работ, от различных механизмов во время эксплуатации</li> <li>-возникновение электротравмы в результате воздействия электрического тока или</li> </ul>

<p><i>профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения)</i></p>	<p>электрической дуги;  -поражение молнией во время строительство и при эксплуатации.  -комплекс средств молниезащиты включает: устройства защиты от прямых ударов молнии и устройств защиты от вторичных воздействий молнии.  <i>Пожаровзрывобезопасность:</i>  -использование открытого огня, замыкание электроаппаратуры, природный фактор.  -профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения, огнетушители, вода, песок.)</p>
<p>3. <i>Охрана окружающей среды:</i>  – защита селитебной зоны  – анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы);  – анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы);  – анализ воздействия объекта на литосферу (отходы);  – разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды.</p>	<p><i>Защита селитебной зоны</i>  -исследуемы объект и его вспомогательные сооружения должны строится вдали от электролиний и очистных сооружений, в санитарно-защитной зоне не допускается размещать жилые здания.  <i>Анализ воздействия объекта на атмосферу:</i>  -выбросные газы от строительной техники, автотранспорта и других механизмов;  -выбросы загрязняющих веществ при сварочных, окрасочных и изоляционных работах.  <i>Анализ воздействия объекта на гидросферу:</i>  -пролив нефтепродуктов, химических и других загрязняющих веществ в водоемы расположенные рядом объекта во избежание загрязнений водного ресурса.  <i>Анализ воздействия объекта на литосферу:</i>  -загрязнением тяжелыми металлами (особенно свинцом), вредными химическими веществами, применяемыми при тех или иных технологических процессах.  <i>Проводить проверку объектов, проводить планово-предупредительные ремонты оборудования, контроль составов выхлопных газов согласно РД 51-1-96</i></p>

<p>4. <i>Защита в чрезвычайных ситуациях:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– <i>перечень возможных ЧС на объекте;</i></li> <li>– <i>выбор наиболее типичной ЧС;</i></li> <li>– <i>разработка превентивных мер по предупреждению ЧС;</i></li> <li>– <i>разработка мер по повышению устойчивости объекта к данной ЧС;</i></li> <li>– <i>разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий</i></li> </ul>	<p><i>Защита в чрезвычайных ситуациях:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– <i>превышение предельно допустимых концентраций газов;</i></li> <li>– <i>внезапные выбросы метана и взрывы;</i></li> <li>– <i>контроль датчиков по показаниям приборов, четкое выполнение ТБ, осведомленность рабочих, правильное оказание доврачебной помощи, контроль за состоянием по недопущению ЧС, ознакомление работников, ежегодное обучение для повышения знаний в ЧС.</i></li> </ul> <p><i>При возникновении ЧС люди должны незамедлительно покинуть рабочие места.</i></p>
<p>5. <i>Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– <i>специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства;</i></li> <li>– <i>организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны</i></li> </ul>	<p><i>Правила безопасности в нефтяной и газовой промышленности ПБ 08-624-03 ГОСТ 12.0001-82 ССБТ «Система стандартов безопасности труда»</i></p> <p><i>ВНТП 51-1-88 Ведомственные нормы на проектирование установок по производству и хранению сжиженного природного газа, изотермических хранилищ и газозаправочных станций (временные)</i></p> <p><i>Санитарные нормы проектирования промышленных предприятий. СНиП .21/2.11.567-96 от 31.10.1996 г.</i></p>
<b>Перечень графического материала:</b>	
<p><i>При необходимости представить эскизные графические материалы к расчётному заданию (обязательно для специалистов и магистров)</i></p>	

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

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Черемискина М.С.			

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-4E41	Курбанов Улугбек Айбекович		

#### **4. Социальная ответственность**

Выпускная квалификационная работа посвящена исследованию горизонтального изотермического резервуара для хранения сжиженного природного газа (СПГ) объемом 61,69 м<sup>3</sup>. Объектом исследования данного раздела является резервуарный парк (РП) для хранения СПГ и рассматривается возможное влияние используемого оборудования, сырья, энергии, продукции и условий работы на человека и окружающую среду; техника безопасности при работе с оборудованием и действия при чрезвычайных ситуациях.

Область применения: заводы по производству СПГ, резервуарные парки для хранения СПГ, перевозки на различных транспортах.

Один из пользователей разрабатываемого решения является Проект «Ямал СПГ».

Проект «Ямал СПГ» реализуется на полуострове Ямал за Полярным кругом на базе Южно-Тамбейского месторождения. Оператором Проекта является ОАО «Ямал СПГ» - совместное предприятие ОАО «НОВАТЭК» (50,1%), концерна TOTAL (20%) и Китайской Национальной Нефтегазовой Корпорации (20%) и Фонда Шелкового пути (9,9%).[17]

Хранения сжиженного природного газа является взрывопожароопасным производством и требует соблюдения общих правил техники безопасности и пожарной безопасности для взрывопожароопасных производств.

##### **4.1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности**

В области охраны труда и безопасности жизнедеятельности трудовую деятельность регламентируют следующие правовые, нормативные акты, инструктивные акты в области охраны труда и отраслевые документы:

- Закон об основах охраны труда в РФ №181-ФЗ от 17.07.1999 г (с изменениями от 20 мая 2002 г., 10 января 2003 г., 9 мая, 26 декабря 2005 г.).

- Федеральный закон о промышленной безопасности опасных производственных объектов 116-ФЗ от 21.07.1997 г. с изменениями от 7.08.2000 г.

- Трудовой кодекс №197-ФЗ (с изм. и доп., вступ. в силу с 13.04.2014).

- Правила безопасности в нефтяной и газовой промышленности ПБ 08-624-03.

- Инструкции по технике безопасности предприятия.

- Порядок разработки деклараций безопасности промышленного объекта РФ.МЧС, Госгортехнадзор №222/59 от 4.04.1996 г.

- ГОСТ 12.0001-82 ССБТ «Система стандартов безопасности труда».

- Санитарные нормы проектирования промышленных предприятий.

СНиП

.21/2.11.567-96 от 31.10.1996 г.

- Закон о пожарной безопасности №69-ФЗ, принят 21.12.1994 г (с дополнениями и изменениями от 22.08.1995 г, от 18.04.1996г, от 2.01.1998 г, от 11.2000 г. от 27.12.2000 г.).

- Пожарная охрана предприятий. Общие требования. НБТ - 201-96, утв. 01.03.1992г. 96.

- Правила пожарной безопасности РФ ППБ-01-93. МВД РФ 14.12.1993 г., дополнения к ним от 25.07.1995 г.

А также на РП будут созданы нормальные условия работы по физическим, химическим, биологическим факторам и факторам трудового процесса. При невозможности по технологическим и иным причинам обеспечить соблюдение гигиенических нормативов на рабочих местах, предусмотрен комплекс защитных мероприятий (организационных, санитарно-гигиенических, ограничения по времени воздействия фактора на работника, СИЗ и т.д.).

Производство работ в местах, где имеется или может возникнуть повышенная производственная опасность, осуществляется по наряду-допуску.

При определении численности персонала учтены следующие отраслевые документы:

- Нормативы численности рабочих, занятых обслуживанием технологических установок нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности СССР, Баку, 1985г.;

- Нормативы численности рабочих по технологическому обслуживанию и ремонту технологических и общезаводских объектов нефтеперерабатывающих предприятий (Книга 1 Технологические установки топливного производства), Уфа, 1983 г.

Без прохождения обязательных медицинских осмотров (обследований), обязательных психиатрических освидетельствований, а также в случае медицинских противопоказаний работники к исполнению ими трудовых обязанностей не допускаются.

Проведение медосмотров регламентируется Приказом Минздравсоцразвития РФ от 16.08.2004 № 83 (ред. от 16.05.2005) «Об утверждении перечней вредных и (или) опасных производственных факторов и работ, при выполнении которых проводятся предварительные и периодические медицинские осмотры (обследования), и порядка проведения этих осмотров (обследований)».

Время начала и конца смен, а также продолжительность обеденного перерыва в графике сменности работы устанавливаются руководством РП по согласованию с профсоюзом в зависимости от конкретных условий работы, с учетом особенностей производства. Рабочее время регламентировано коллективным договором.[18]

## 4.2. Анализ опасных производственных факторов

Таблица 1- Возможные опасные и вредные факторы

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ			Нормативные документы
	Разра ботка	Изгот овлен ие	Эксп луата ция	
1.Отклонение показателей микроклимата	-	-	+	«Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений из санитарных правил и норм» СанПиН 2.2.4.548-96
2.Превышение уровня шума	-	+	+	СНиП 23-03-2003 «Защита от шума».
3.Отсутствие или недостаток естественного света	+	+	+	Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95
4.Недостаточная освещенность рабочей зоны	+	+	+	«Нормы технологического проектирования электроснабжения промышленных предприятий» НТП ЭПП-94
5.Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека	-	+	+	ГОСТ 12.3.002-75. ССБТ. Процессы производственные. Общие требования безопасности. ГОСТ 12.3.003-86 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Работы электросварочные. Требования безопасности

## 4.3. Анализ опасных и вредных производственных факторов

Рассмотрим вредные производственные факторы, которые действуют или могут воздействовать на организм человека при обслуживании резервуарного парка. [19]

А также рассмотрим нормативные значения этих факторов и мероприятия, направленные на снижение или устранение этих факторов.

### *Отклонение показателей микроклимата на открытом воздухе, рабочей зоны*

В настоящее время для оценки допустимости проведения работ и их нормирования на открытом воздухе в условиях крайнего севера используется понятие предельной жесткости погоды для каждого района решением местных региональных органов управления.

Предельная жесткость погоды, ниже которой не могут выполняться работы на открытом воздухе, колеблется в пределах от минус 40 до минус 45 °С.

При эквивалентной температуре наружного воздуха ниже минус 25 °С работающим на открытом воздухе или в закрытых необогреваемых помещениях работникам резервуарного парка, ежечасно должен быть обеспечен обогрев в помещении, где необходимо поддерживать температуру около плюс 25 °С.

Работающие на открытом воздухе должны быть обеспечены в зимнее время спецодеждой и спецобувью с повышенным суммарным тепловым сопротивлением, а также защитными масками для лица.

Работники должны быть обучены мерам защиты от обморожения и оказанию доврачебной помощи.

Интенсивность теплового облучения от работающих агрегатов и от нагретых поверхностей не должна превышать 35 Вт/м<sup>2</sup> при облучении 50% поверхности тела, 70 Вт/м<sup>2</sup> при облучении 25-50% поверхности тела и 100Вт/м<sup>2</sup>при облучении менее 25%. Максимальная температура при этом 28°С (301 К).

Эргономика рабочего места - оборудовать специальные теплые помещения для отдыха и обогрева; при работе в нагревающем микроклимате оборудовать душевые комнаты; обеспечить персонал средствами индивидуальной защиты.[20]

*Превышение уровней шума.*

Шумы в резервуарном парке во время строительства от работы различных строительных машин (бульдозеры, тракторы) и во время эксплуатации возникает в процессе работы различных двигателей и оборудования.

Расчет уровней звукового давления на границе парка, жилой застройки и других объектов инфраструктуры производится в соответствии со СНиП 23-03-2003 «Защита от шума».

Шумы уровня 70-90 дБ при длительном воздействии приводят к заболеванию нервной системы, а более 100 дБ - к снижению слуха, вплоть до глухоты.

К коллективным средствам и методам защиты от шума относятся:

- совершенствование технологии ремонта и своевременное обслуживание оборудования;
- использование средств звукоизоляции (звукоизолирующие кожухи); средств звукопоглощения.

Также необходимо использовать рациональные режимы труда и отдыха работников.

В качестве СИЗ Государственным стандартом предусмотрены заглушки-вкладыши (многократного или однократного пользования, вкладыши "Беруши" и др.), заглушающая способность которых составляет 6-8 дБА. В случаях более высокого превышения уровней шума следует использовать наушники, надеваемые на ушную раковину. Наушники могут быть независимыми либо встроенными в головной убор или в другое защитное устройство.

На данном месте нужно подчеркнуть возможность сокращения времени эксплуатации шумного оборудования, перемещения шумного оборудования в другое место, выбора рационального режима труда и отдыха и сокращения времени нахождения в шумных условиях.[21]

*Превышение уровней вибрации*

Основными источниками вибрации в РП являются компрессоры и паротрубинные компрессоры.

Воздействие производственной вибрации на человека вызывает изменения как физиологического, так и функционального состояния организма человека. Изменения в функциональном состоянии организма проявляются в повышении утомляемости, увеличении времени двигательной и зрительной реакции, нарушении вестибулярных реакций и координации движений. Все это ведет к снижению производительности труда.

Для санитарного нормирования и контроля используются средние квадратические значения виброускорения или виброскорости, а также их логарифмические уровни в децибелах. Для первой категории общей вибрации, по санитарным нормам скорректированное по частоте значение виброускорения составляет 62 дБ, а для виброскорости – 116дБ. Наиболее опасной для человека является вибрация с частотой 6-9 Гц.

Вибробезопасные условия труда должны быть обеспечены:

-применением вибробезопасного оборудования и инструмента; применением средств виброзащиты, снижающих воздействие на работающих вибрации на путях ее распространения, от источника возбуждения;

-организационно-техническими мероприятиями (поддержание в условиях эксплуатации технического состояния машин и механизмов на уровне, предусмотренном НТД на них;

-введение режимов труда, регулирующих продолжительность воздействия вибрации на работающих.

#### *Недостаточная освещенность рабочей зоны*

Недостаточная освещенность рабочей зоны влияет на функционирование зрительного аппарата, то есть определяет зрительную работоспособность, на психику человека, его эмоциональное состояние, вызывает усталость центральной нервной системы.

Освещенность рабочей зоны парка нормируется по документу «Нормы технологического проектирования электроснабжения промышленных предприятий» НТП ЭПП-94.

Для резервуарных парков и участков работ парка необходимо предусматривать общее равномерное освещение. При этом освещенность должна быть не менее 2 лк независимо от применяемых источников света, за исключением автодорог. На рабочем месте должна быть освещенность места работ не менее 5 лк при работе вручную и не менее 10 лк при работе с помощью машин и механизмов.

Для нормирования освещенности должны сделать демонтаж установленных ранее светильников и установка на их место новых светильников, оснащенных электромагнитными ПРА. [22]

#### *Опасность поражения электрическим током*

Возникновение электротравмы в результате воздействия электрического тока или электрической дуги может быть связано:

—с одновременным прикосновением человека к двум токоведущим неизолированным частям (фазам, полюсам) электроустановок, находящихся под напряжением;

—с приближением на опасное расстояние человека к неизолированным от земли токоведущим частям электроустановок, находящихся под напряжением.

С целью защиты персонала от поражения электрическим током при пробое изоляции, защиты от статического электричества и опасных воздействий молнии на резервуарах и сырьевых трубопроводах предусматривается заземляющее устройство, состоящее из магистральных заземлителей, искусственных и естественных заземляющих устройств, защитных проводников.

Система заземления TN-S предусмотрена по ГОСТ 50571.2-94 (МЭК 364-3-93) «Электроустановки зданий. Часть 3. Основные характеристики» и ПУЭ -6,7. [23]

#### **4.4. Экологическая безопасность**

Работа исследуемого объекта сопровождается негативным воздействием на окружающую среду в виде:

- выбросы в атмосферный воздух загрязняющих веществ и иных веществ;
- загрязнение недр, почв;
- размещение отходов производства и потребления;
- сбросы загрязняющих веществ, в поверхностные водные объекты и на водосборные площади.

Оценка степени риска рабочей зоны проводится в соответствие с нормативно – методическими документами такие как:

Федеральный Закон № 7-ФЗ от 10.01.2002 г. «Об охране окружающей среды»;

• Федеральный Закон № 96-ФЗ от 04.05.99 г. «Об охране атмосферного воздуха»;

• Федеральный Закон № 167-ФЗ от 16.11.95 г. «Водный кодекс Российской Федерации»;

• Федеральный Закон № 136-ФЗ от 25.10.01 г. «Земельный кодекс Российской Федерации»;

• Федеральный закон от 24.06.98 г. № 89-ФЗ «Об отходах производства и потребления»;

• Федеральный закон от 21.02.92 № 2395-1, «О недрах»;

• Федеральный закон № 52-ФЗ от 30.03.99 г. «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения»;

• Постановление Правительства Российской Федерации № 373 от 21.04.2000 г. «Об утверждении Положения о государственном учете вредных воздействий на атмосферный воздух и их источников»;

*Воздействие на атмосферу*

Основным источником выделения загрязняющих атмосферу веществ во время эксплуатации являются дыхательные клапана резервуаров и выбросы при сливе-наливе продуктов. Во время строительства выхлопные газы строительной техники, вредные газы во время сварочных и лакокрасочных работ являются загрязняющими и приводят к истощению запаса кислорода; разрушению озонового слоя.

Для снижения уровня загрязнения необходимо:

- разработка и внедрение очистных фильтров на предприятиях;
- использование экологически безопасных источников энергии;
- использование безотходной технологии производства;
- борьба с выхлопными газами.

#### *Воздействие на гидросферу*

В процессе строительства резервуара, появляется большое количество отходов производства. Утилизации таких отходов должна быть осуществлена только в специально предназначенные для этого места, не допускается сброс отходов в водные источники, во избежание загрязнений водного ресурса

Для того, чтобы воздействие при строительстве резервуара было минимальным необходимо проводить следующие мероприятия: все горюче – смазочные материалы должны быть слиты в отведенные для этого места; промышленные и бытовые отходы должны быть утилизированы в отведенные для этого места; вывоз отходов строительства должен быть санкционированным и своевременным; мойку и ремонт машин, применяемых при строительстве резервуара необходимо осуществлять только в отведенных для этого местах.

#### *Воздействие на литосферу*

Воздействия на природную и окружающую человека среду современных промышленных предприятий происходят в конкретной форме в виде выбросов в атмосферу, сбросов в гидросферу и литосферу, излучающих полей и др. каждое из которых характеризуется качественными и количественными показателями. Классификация последствий воздействия

промышленных предприятий на природную среду, проявляющихся в виде нарушений или загрязнений и приводящих к различным видам ущербов, возможна на основе различных критериев.

Воздействие на литосферу характеризуется загрязнением тяжелыми металлами (особенно свинцом), вредными химическими веществами, применяемыми при тех или иных технологических процессах.

Основными методами сохранения земельных ресурсов являются:

—исправление ландшафта, изменённого во время работ;

—создание мелиоративных и гидротехнических сооружений; обработка почвы, путем внесения удобрений. [24]

#### **4.5. Безопасность в чрезвычайных ситуациях**

Чрезвычайными ситуациями (ЧС) принято называть обстоятельства, возникающие в результате стихийных бедствий (природные ЧС), аварий и катастроф в промышленности и на транспорте (техногенные ЧС), экологических катастроф, диверсий или факторов военного, социального и политического характера, которые заключаются в резком отклонении от нормы протекающих явлений и процессов и оказывают значительное воздействие на жизнедеятельность людей, экономику, социальную сферу или природную среду.

Чрезвычайные ситуации могут возникнуть в процессе эксплуатации резервуаров по различным причинам:

—по причине техногенного характера;

—попадание в резервуар молнии.

Основными причинами возникновения аварий являются: коррозионные разрушения, малые и большие дыхания, перепады температур, вакуум, неверное техническое обслуживание, отказ приборов контроля и сигнализации, факторы внешнего воздействия (молнии, ураганы и прочее).

На объектах РП предусматриваются мероприятия по обеспечению экстренной (беспрепятственной) эвакуации людей с территории объектов:

- все проектируемые здания и сооружения обеспечены нормативными эвакуационными выходами;

- минимальная ширина участков путей эвакуации установлена не менее 1 м, дверей не менее 0,8 м;

- двери на эвакуационных путях открываются в направлении выхода из здания;

- конструктивные элементы эвакуационных выходов отделаны негоряемыми материалами;

- возможность покинуть любую установку и помещение в двух направлениях по внутримплощадочной дороге, проложенной по периметру площадки с подъездами к каждому зданию и сооружению;

Все принятые на работу сотрудники в обязательном порядке проходят инструктаж по ГО и ЧС, без прохождения инструктажа они не допускаются к работе.

Для защиты от теплового воздействия при пожарах наружных сооружений комплекса СПГ, следует предусматривать, применение стационарных установок водяного орошения и стационарных лафетных стволов, в соответствии с требованиями: "Ведомственных указаний по проектированию предприятий, зданий и сооружений нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности" (ВУПП-86), "Указаний по проектированию систем пожаротушения на нефтеперерабатывающих и нефтехимических предприятиях" (У-ТБ-07-82) и настоящего раздела норм. [25]

### *Заключение*

В ходе исследовательской работы мы ознакомились нормативными документациями используемые в разработке, монтаже и эксплуатации резервуарного парка для хранения сжиженного природного газа. Ознакомились опасными и вредными производственными факторами.

Сделали анализ влияние человеку и по устранению этих факторов. Ознакомились влиянием на окружающую среду. Сделали выводы по чрезвычайным ситуациям в резервуарном парке.

## Заключение

В ходе проведения выпускной квалификационной работы были рассмотрены конструктивные особенности и технические параметры горизонтального изотермического резервуара для хранения СПГ с объемом 61,91 м<sup>3</sup>. Для рассматриваемого резервуара был проведен аналитический расчет номинальных значений толщин стенок, опор и днища. В результате проведенных расчетов были определены поля напряжений, деформаций и перемещений, характерные материалу конструкции. Полученные значения сравнивались с допустимыми согласно ГОСТ Р 52857.1-2007 «Сосуды и аппараты. Методы расчета на прочность». Из проведенного сравнения выяснилось, что максимальные расчетные напряжения не превышают величину допустимых значений.

В разделе социальная ответственность рассмотрены опасные и вредные факторы, оказываемые на людей при строительстве, монтаже и эксплуатации резервуара горизонтального стального объемом 61,91 м<sup>3</sup>, а также способы защиты и предупреждения. Рассмотрен фактор воздействия на окружающую среду и мероприятия по их устранению.

В разделе финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережения рассмотрена ресурсная, финансовая и экономическая эффективность исследования. Определен интегральный показатель эффективности научного исследования.

## Список использованных источников

1. Роль и перспективы Российской Федерации на мировом рынке сжиженного природного газа. Жувакин Д.Ю. Диссертация. Москва 2014 - .12-13 с.
2. Сайт LNGas.ru. Резервуары для хранения сжиженного газа. <http://lngas.ru/lng-storage/rezervuary-xranenie-spg.html>. [электронный ресурс].
3. Производство сжиженного природного газа. Способы и оборудование. К.Ю. Чириков, Т.С. Рябова, В.П. Ворошилов. Москва. ВНИИЭгазпром, 1976. - 71 с.
4. Руководство по безопасности для складов сжиженных углеводородных газов и легко воспламеняющихся жидкостей под давлением. Серия 09. Выпуск 34. Закрытое акционерное общество «Научно-технический центр исследований проблем промышленной безопасности», 2012. - 56 с.
5. Хладостойкость (метод инженерной оценки). Махутов Н.А., Лыглаев А.В., Большаков А.М. - Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2011. - 195 с.
6. ГОСТ Р 52857.3-2007"Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность" -1 с.
7. ВНТП 51-1-88. Ведомственные нормы на проектирование установок по производству и хранению сжиженного природного газа, изотермических хранилищ и газозаправочных станций (временные). Мингазпром СССР. - 55 с.
8. Организация и Управление предприятиями нефтяной и газовой промышленности. Андреев А.Ф. и др. Учебное пособие / Под ред. Е.С. Сыромятникова. – М.: Нефть и газ, 1997 – Ч. 1. – 144 с., М.: Нефть и газ, 1999 – Ч. 2. – 139 с.
9. Финансовый менеджмент в нефтегазовых отраслях. Злотникова Л.Г. Учебник. – М.: Нефть и газ, 2005. – 452 с.
10. Финансы предприятий нефтегазовой промышленности. Зубарева В.Д. и др. Учебное пособие. – М.: ГТА-Сервис, 2000. – 368 с.

11. Бюджетирование в деятельности предприятия: учебное пособие / Наумова, Н.В., Жарикова Л.А. Тамбов : Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2009; -34 с.
12. Основы управления затратами предприятия: учебное пособие/ Г.Г. Серебренников. – 2-е изд., стер. – Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. Ун-та, 2009; - 23 с.
13. <http://aluva.ru/stroitelstvo-rezervuarov/>[электронный ресурс];
14. Оценка стоимости машин и оборудования: Учебное пособие / А.Н.Асаул, В. Н. Старинский; под ред. д.э.н., проф. А.Н. Асаула. СПб.: «Гуманистика», 2011г.; 12 с.
15. <http://economy-lib.com> [электронный ресурс];
16. Экономика организации: Практикум для бакалавров Шаркова А.В., Ахметшина Л.Г., Дашков И.К. • 2014 год • 120 страниц
17. Сайт Neftegaz.RU. Резервуары для хранения сжиженного газа. . <https://neftegaz.ru>. [электронный ресурс].
18. Ходатайство (Декларация) о намерениях инвестирования в строительство нефтеперерабатывающего завода в районе Мурманске. Пояснительная записка. Том 1. «Газпром ВНИИГАЗ» - 24-60 с.
19. ГОСТ 12.0.002-80 «Система стандартов безопасности труда. Термины и определения». - 4-15 с.
20. СанПиН 2.2.4.548-96 «Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений из санитарных правил и норм».- 8 -57 с.
21. СНиП 23-03-2003 «Защита от шума».-5 -36 с.
22. ГОСТ 61140-2012 «Защита от поражения электрическим током. Общие положения безопасности установок и оборудования».- 44 с.
23. Федеральный закон от 21 июля 1997 г. N 116-ФЗ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов». -56 с.
24. Оценка воздействия на окружающую среду и социальную сферу. Краткое изложение результатов оценки. Энвайрон. Август 2014г.-56 с.

25. Обеспечение безопасности резервуаров для хранения сжиженного природного газа с учетом негативных эксплуатационных факторов: дис. канд. тех. наук (05.26.02) / А.Р. Рахманин; Российский государственный университет нефти и газа им. И.М. Губкина. – Москва, 2014 3-15 с.