

**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 оборудование нефтяных и газовых промыслов»  
Отделение школы (НОЦ) нефтегазового дела

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

Тема работы
<b>Расчет на прочность и жесткость цилиндрического резервуара для хранения нефти</b> УДК 622.692.2-023.821:539.4

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4Е41	Никифоров Николай Андреевич		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Светашков Александр Андреевич	д.ф.-м.н.		

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Черепанова Наталья Владимировна	к.ф.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Штейнле Александр Владимирович	к.м.н.		

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
	Брусник Олег Владимирович	к.п.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	Требования ФГОС (ПК-19; ПК-20; ПК-21, ПК-24, ОК-6; ОК-7), Критерий 5 АИОР (п.

	оборудование, обеспечивать его высокую эффективность работы, соблюдать правила охраны здоровья и безопасности труда на нефтегазовом производстве, выполнять требования по защите окружающей среды.	5.2.4; п. 5.2.6; п. 5.2.7), 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 оборудование нефтяных и  
 газовых промыслов»  
 Отделение нефтегазового дела

УТВЕРЖДАЮ:  
 Руководитель ООП  
 \_\_\_\_\_ О.В. Брусник  
 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

**ЗАДАНИЕ  
 на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

<b>БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ</b>
----------------------------

Студенту:

Группа	ФИО
4E41	Никифорову Николаю Андреевичу

Тема работы:

<b>Расчет на прочность и жесткость цилиндрического резервуара для хранения нефти</b>	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	От 10.01.2018 №34/С

Срок сдачи студентом выполненной работы:

--	--

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<p><b>Исходные данные к работе</b>  <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<p>Объектом исследования является цилиндрический вертикальный резервуар для хранения нефти:                  Номинальный объем: 10000 м<sup>3</sup>.                  Конструкция резервуара: вертикальный цилиндрический стальной.                  Воздействие: собственный вес конструкции, вес углеводородного сырья, снеговая и ветровая нагрузки.</p>
<p><b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b>  <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Обзор решения задачи теории оболочек.</li> <li>2. Расчет с помощью программного комплекса ANSYS.</li> <li>3. Расчет аналитическим способом.</li> <li>4. Финансовый менеджмент.</li> <li>5. Социальная ответственность.</li> <li>6. Выводы по работе.</li> </ol>

<b>Перечень графического материала</b> <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Чертеж общего вида резервуара вертикального стального объемом 10000 м<sup>3</sup>.</li> <li>2. Чертеж днища резервуара вертикального стального объемом 10000 м<sup>3</sup>.</li> <li>3. Чертеж стенки резервуара вертикального стального объемом 10000 м<sup>3</sup>.</li> </ol>
---	--

**Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы**  
*(если необходимо, с указанием разделов)*

Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Черепанова Н.В., к.ф.н.
Социальная ответственность	Штейнле А.В., к.м.н.

**Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:**  
 -

**Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику**

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Светашков А.А.	д.ф.-м.н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4Е41	Никифоров Николай Андреевич		

**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 оборудование нефтяных и газовых промыслов»  
Отделение нефтегазового дела  
Уровень образования: Бакалавриат  
Период выполнения: весенний семестр 2017/2018 учебного года

Форма представления работы:

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

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

Срок сдачи студентом выполненной работы:	05.06.2018
--	------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
22.02.18	<i>Обзор литературы</i>	20
8.03.18	<i>Введение</i>	10
22.03.18	<i>Общая часть</i>	15
12.04.18	<i>Расчетная часть</i>	15
26.04.18	<i>Финансовый менеджмент</i>	10
10.05.18	<i>Социальная ответственность</i>	10
24.05.18	<i>Заключение</i>	10
7.06.18	<i>Презентация</i>	10

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Светашков А.А.	д.ф.-м.н.		

**СОГЛАСОВАНО:**

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
	Брусник О.В.	к.п.н		

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа содержит в себе: 101 страниц, 20 рисунков, 29 таблиц, 35 литературных источников, 3 чертежа.

Ключевые слова: резервуар, конструкция, расчет на прочность, расчет на жесткость, проверка на устойчивость, стенка, днище, крыша, нормативный документ, государственный стандарт, свод правил, антикоррозионная защита, теплоизоляция, листовой прокат, напряженно-деформированное состояние, конечно-элементная модель, напряжение, численный эксперимент.

Объектом исследования является вертикальный цилиндрический стальной резервуар объемом 10000 м<sup>3</sup>.

Цель работы – проведение расчетов напряженно-деформированного состояния и прочности конструкции резервуара, реализованных как аналитическим способом, так и с помощью метода конечных элементов, а именно программного комплекса ANSYS.

Задачи:

- Обзор различных конструкций резервуаров, предназначенных для хранения нефти и нефтепродуктов;
- анализ методик расчета на прочность и жесткость резервуаров;
- проведение расчетов напряженно-деформированного состояния резервуара на основе аналитического способа и с помощью пакета МКЭ ANSYS.

В процессе выполнения ВКР:

- были проведены расчеты на прочность и жесткость стенки резервуара;
- проанализированы существующие методики расчетов конструкции резервуара;
- рассчитаны минимальные толщины резервуара, для которых выполняются критерии прочности в условиях эксплуатации и гидравлических испытаний;

- определены номинальные толщины поясов стенки;
- проведены оценки стенки резервуара на прочность, жесткость и устойчивость.

В результате исследования было проведено сравнение существующего аналитического метода оценки прочности и жесткости и соответствующего расчета на основе метода конечных элементов.

Степень внедрения: в настоящее время рассмотренные аналитические методы расчета используются для проектирования в нефтегазовой промышленности.

Выпускная квалификационная работа выполнена в текстовом редакторе Microsoft Word 2016, в программном комплексе ANSYS, а также в графическом редакторе КОМПАС-3D.



## **Определения, сокращения, нормативные ссылки**

В данной работе были применены следующие определения, сокращения и нормативные ссылки:

**Резервуар** – сооружение, предназначенное для приема, хранения и сдачи нефти и нефтепродуктов;

**Кольцевые напряжения** – напряжения, действующие в окружном направлении;

**Меридиональные напряжения** – напряжения, действующие в направлении образующей стенки резервуара (оси балки);

**Дефект** – каждое отдельное несоответствие параметров (характеристик\_ резервуара или его элемента требованиям нормативно-технической документации;

**Окрайки днища резервуара** – это утолщенные, по сравнению с центральной частью, листы, располагаемые по периметру резервуара в зоне опирания стенки;

**Прочность** – свойство конструкции выполнять назначение, не разрушаясь в течение заданного времени под действием напряжений, возникающих под воздействием внешних сил;

**Устойчивость** – способность сооружений противодействовать усилиям, стремящимся вывести их из исходного состояния статического или динамического равновесия;

**Жесткость** – способность конструктивных элементов сопротивляться деформации при внешнем воздействии;

**РВС-10000** – резервуар вертикальный стальной объемом 10000 м<sup>3</sup>;

**РВС** – резервуар вертикальный стальной;

**РФ** – Российская Федерация;

**ГОСТ** – государственный стандарт;

**СТО** – стандарт организации;

**РД** – руководящий документ;

**НДС** – напряженно-деформированное состояние;

**ЛВЖ** – легковоспламеняющаяся жидкость;

**ГО** – газовая обвязка;

**УЛФ** – улавливания легких фракций;

**РВ** – резервуарный парк;

**ТЗ** – техническое задание;

**КМД** – конструкции металлические деталеровочные;

**КМ** – конструкции металлические;

**ВСН** – ведомственная норма;

**КЖ** – конструкции железобетонные;

**ППР** – проект производства работ;

**ППРк** – проект производства работ кранами;

**АКЗ** – антикоррозионная защита;

**ТН** – теплонагреватель;

**ТИ** – теплоизоляция. ГОСТ 12.1.003-14 ССБТ Шум. Общие требования;  
ГОСТ 12.1.029-80 ССБТ Средства и методы защиты от шума. Общие требования;

ГОСТ 12.1.012-2004 ССБТ Вибрационная безопасность. Общие требования;

ГОСТ 12.2.062-81 ССБТ Оборудование производственное. Ограждения защитные;

ГОСТ 17.1.3.13-86 Охрана природы. Гидросфера. Общие технические требования к охране поверхностных вод от загрязнений;

ГОСТ 12.1.004-91 ССБТ Пожарная безопасность. Общие технические требования;

ГОСТ 17.1.3.06-83 Охрана природы. Гидросфера. Общие технические требования к охране подземных вод.

## Оглавление

Введение.....	14
1. Обзор литературы .....	16
2. Описание конструкции.....	17
2.1 История.....	17
2.2 Производство .....	18
2.3 Классификация резервуаров .....	19
2.4 Конструкции резервуара .....	21
2.5 Монтаж .....	28
2.6 Общие сведения о применяемом резервуаре .....	29
3. Методика расчетов конструкции резервуара.....	33
3.1 Постоянные и временные нагрузки, действующие на резервуар .....	33
3.2 Исходные данные для расчета на прочность и устойчивость стенки РВС .....	34
3.3 Предварительный выбор толщин поясов стенки .....	35
3.4 Проверка стенки на прочность .....	41
3.5 Проверка стенки на устойчивость .....	49
3.6 Расчет на жесткость .....	53
4. Расчет на ЭВМ .....	55
4.1 Расчет при эксплуатации зимний период .....	55
4.2 Расчет при эксплуатации летний период.....	58
5. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	61
5.1 Потенциальные потребители результатов исследования .....	62
5.2 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.....	62
5.3 SWOT – анализ .....	64
5.4 Планирование научно-исследовательских работ.....	68
5.5 Определение ресурсоэффективности проекта .....	82
6. Социальная ответственность .....	86
6.1 Опасные и вредные производственные факторы .....	86
6.2 Анализ выявленных вредных факторов производственной среды.....	86
6.3 Анализ опасных производственных факторов и обоснование мероприятий по их устранению.....	90

6.4 Экологическая безопасность.....	93
6.5 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности ...	95
Заключение .....	97
Список использованной литературы.....	98

## **Введение**

Нефтегазовая промышленность – базовая отрасль Российской экономики. По мере развития нефтяной промышленности возросла потребность в хранении больших объемов нефти и продуктов её переработки. Резервуары служат для хранения, приема и отпуска нефтепродуктов, щелочей, химических веществ, дизельного топлива, воды и других жидкостей в различных климатических условиях. От их правильной работы и надежности при эксплуатации зависит экологическая обстановка местности, где располагается нефтебаза, центральные и промежуточные резервуарные парки. На этапах проектирования и сооружения обеспечивается нужная степень надежности цилиндрического РВС, которая осуществляется на этапе эксплуатации.

Аварии резервуаров с последующей разливкой нефти и нефтепродуктов наносят прилегающей территории огромные экологические загрязнения. Экономический ущерб предприятия включает не только потери продукта, но и большие затраты на восстановление окружающей среды и восполнение запаса потерянных продуктов.

Как известно с практической точки зрения, сохранить углеводородное сырье является сложной задачей, точно также, как и создать идеальные условия для хранения нефтепродуктов различного вида. Это связано с тем, что эти продукции имеют характерные качества, усложняющие процесс добычи, транспортировки и хранения.

В настоящее время по всему миру наиболее распространены вертикальные стальные виды нефтяных резервуаров. Проектирование РВС на территории Российской Федерации регламентируется межгосударственным стандартом ГОСТ 31385-2016 [1] и стандартом СТО-СА-03-002-2009 [2].

В процессе эксплуатации на резервуары действуют различные статические, малоцикловые, снеговые и ветровые нагрузки, воздействие

температуры и агрессивной рабочей среды, образующие несовершенства геометрической формы. В последствии существенно уменьшается несущая способность конструкции, снижается эксплуатационная надежность и сокращается долговечность резервуарной конструкции. В отличие от стандартного метода расчета на прочность и жесткость, метод численного моделирования позволяет разработать геометрическую модель и создать соответствующую конечно-элементную аппроксимацию на этапе проектирования.

Аналитический расчет резервуара связан с безмоментной теорией оболочек, т.к. такой объект представляет собой вертикальную оболочку с днищем. При всем этом, существенно меняется симметрия конструкции из-за наличия геометрических особенностей (наличие в конструкции люков, штуцеров, отверстий, изменение элементов конструкции по сечению и т.д.). Поэтому при расчете распределения напряжений и деформаций в локальных зонах, необходимо использовать технологии численных расчетов, поскольку аналитические методы в данном случае бессильны.

Целью данной ВКР является проведение расчетов напряженно-деформированного состояния и прочности конструкции резервуара, реализованных как аналитическим способом, так и с помощью метода конечных элементов.

Для достижения цели данной работы, необходимо решить следующие вопросы:

- провести анализ конструкций резервуаров, предназначенных для хранения углеводородного сырья;
- рассмотреть методики расчета на прочность и жесткость резервуаров;
- сделать расчеты с помощью существующего аналитического способа так и на платформе МКЭ ANSYS.

## 1. Обзор литературы

В процессе эксплуатации, стенки резервуара испытывают напряженно деформированное состояние, возникающее от растягивающих, сжимающих и сдвиговых напряжений. Стенки резервуара при заполнении его нефтепродуктом расширяются от давления столба жидкости и давления в газовом пространстве. А при сливе нефтепродукта резервуар сжимается и давление в нем становится меньше атмосферного давления. Тщательный расчет и своевременный осмотр дает гарантию на длительную эксплуатацию резервуаров. Основная часть анализа была взята из следующих основных документаций: ГОСТ 31385-2016 Резервуары вертикальные цилиндрические стальные для нефти и нефтепродуктов [1]. Общие технические условия, СТО-СА-03-002-2009 Правила проектирования, изготовления и монтажа вертикальных цилиндрических стальных резервуаров для нефти и нефтепродуктов [2], СП 16.13330.2017 «Стальные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-23-81\*» [3] и СП 20.13330.2016 Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85\* [4]. Дают общее представление конструирования и, не маловажно, знакомят нас с конструкцией и оборудованием резервуаров учебные пособия [10] и [35].

Подобная работа была описана в статье [29], где проведено сравнение стандартных методов расчета на прочность с методом конечных элементов. Стандартный метод расчета связан с безмоментной теорией оболочек [30], а метод численного моделирования с методом конечных элементов [32].



## 2. Описание конструкции

### 2.1 История

Первые резервуары для хранения нефти и нефтепродуктов в Российской империи начали появляться в 18 веке и представляли собой вырытые углубления в земле глубиной 4-6 м с деревянной крышей, каменные резервуары под землей, а также чаны из дерева, стянутые железными обручами. В 1878 году в Российской империи был сооружен первый в мире вертикальный цилиндрический стальной клепаный резервуар по проекту В. Г. Шухова и А. В. Бари. С 1912-го года в Российской империи стали применять резервуары, сделанные из железобетона, в США – резервуары сборно-разборного типа с объемом от 15 до 1600 м<sup>3</sup>. В 1921 в США был сооружен первый сварной металлический резервуар с объемом 500 м<sup>3</sup>, а в 1935 в СССР вместимостью 1000 м<sup>3</sup>.

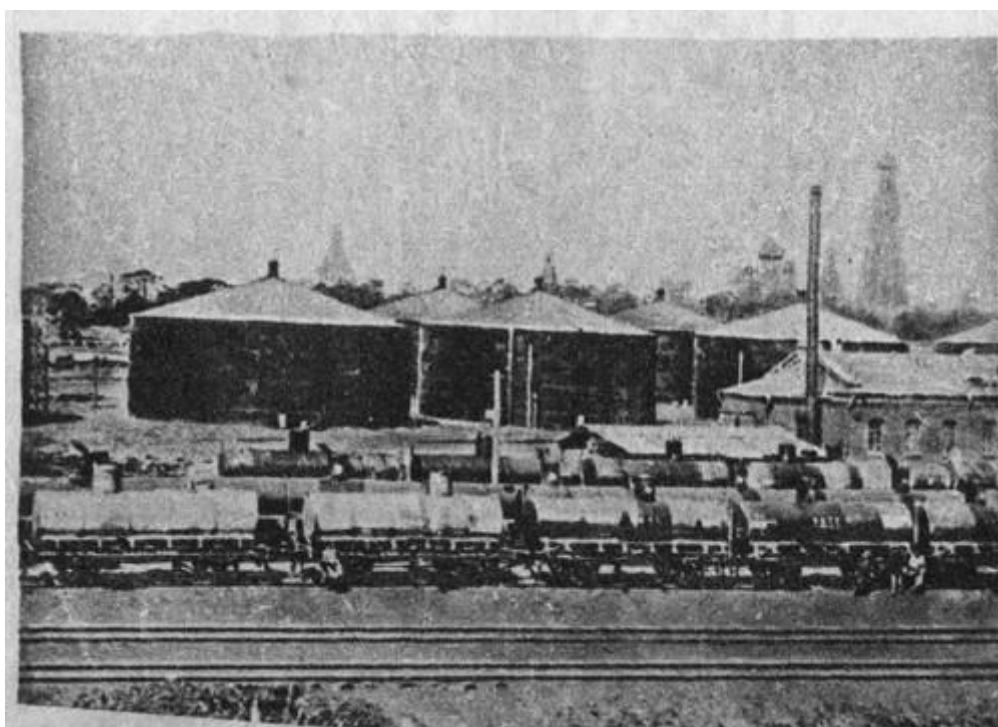


Рисунок 1 – Нефтяные резервуары

## 2.2 Производство

Несмотря на то, что конструкция вертикальных резервуаров кажется простой, их изготовление представляет собой сложный многостадийный процесс.



Рисунок 2 – Изготовление металлоконструкции

Прежде чем приступить к заводскому изготовлению резервуаров, требуется выполнить детализированные рабочие чертежи КМД, разработанные согласно проекту КМ, и утвержденный в установленном порядке технологический процесс, которая обеспечивает выполнение требований ПБ 03-605-03 и ГОСТ 31385-2016. Гарантией качества конструкции является производство с соблюдением государственных стандартов. Применяются для изготовления материалы подверженные входному контролю на соответствие требованиям нормативной и проектной документации. Металлопрокат подвергается специальной обработке перед подачей в производство.

Конструктивные элементы резервуаров делятся на основные и вспомогательные. К основным относятся: стенка, днище и кольцевые окрайки,

крыша (каркас и настил), кольца жесткости, анкерные крепления, обечайки люков и патрубков. К вспомогательным: площадки, лестницы, ограждения.

Основные конструкции резервуаров могут выполняться методом рулонирования или методом полистовой сборки. Рулонизируемые полотнища собирают, сваривают, проводят контроль и сворачивают в рулоны. При полистовой сборке детали стенок вальцуют на проектный радиус и укладывают в ложементы для транспортировки.

После сборки резервуары проходят тщательную проверку на соответствие государственных стандартов и стандартов предприятия-заказчика. Помимо этого, резервуары проверяются на наличие признаков нарушения герметичности, выдержку механических нагрузок и предельных давлений.

### **2.3 Классификация резервуаров**

Резервуары для хранения нефти и нефтепродуктов классифицируются:

По расположению на:

- наземные;
- подземные;
- подводные.

По форме оболочки на:

- горизонтальные цилиндрические;
- вертикальные цилиндрические;
- шаровые резервуары;
- каплевидные резервуары;
- прямоугольные резервуары.

По материалам изготовления на:

- деревянные;

- земляные(амбары);
- каменные;
- железобетонные;
- металлические;
- стеклопластиковые;
- пластмассовые;
- резинотканевые.

По способу установки на:

- стационарные;
- передвижные.

По состоянию хранимого продукта на:

- резервуары для маловязкой нефти и нефтепродуктов;
- резервуары для высоковязкой и застывающей нефти и нефтепродуктов, требующие подогрева;
- для сжиженных газов.

По величине избыточного давления на:

- с низким давлением (меньше 0,002 МПа);
- с повышенным давлением (от 0,002 до 0,067 МПа);
- с высоким давлением (больше 0,067 МПа).

Наземные нефтяные резервуары изготавливаются в основном из стали и железобетона. Железобетонные резервуары конструируются из рулонных заготовок стенки и днища резервуара, которые свариваются на специальных заводах и доставляются к месту установки в свернутом виде, или из сборочных элементов.

Подземные нефтяные резервуары делят на:

- шахтные, возводимые в намеренно созданных горных выработках или в отслуженных выработках рудников и шахт;

- бесшахтные, разрабатываемые выщелачиванием в пластах каменной, а также путем уплотнения пород взрывом;
- траншейные, возводимые с помощью открытого горного способа.

В местах, где встречается полускальный, крупнообломочный, песчаный и глинистый грунт, траншейные нефтяные резервуары конструируются из металла с щитовой крышей, опирающееся на несущую конструкцию. К недостаткам подземных нефтяных резервуаров относятся трудности эксплуатации, ремонта и определения утечек. А к недостаткам шахтных резервуаров, помимо этого, надобность в заглублении насосной станции и др.

Для хранения нефти и нефтепродуктов под водой эластичную емкость или оболочку из металла погружают на дно с помощью дополнительно подвесив груз-якорь. Помимо этого, нефтяные резервуары располагают в бетонных фундаментах морских буровых платформ. При конструировании резервуара должна обеспечиваться герметичность, коррозионная и химическая стойкость по отношению к хранимым продуктам, эксплуатационная безопасность, долговечность и др. Конструирование нефтяного резервуара должна производиться на основе технико-экономического анализа с учетом всех потребностей на сокращение потерь хранящихся продуктов, их физических и химических свойств и требований, представленных к технологии хранения. Резервуары для хранения нефти или группа резервуаров для хранения нефти входят в состав нефтехранилищ.

## **2.4 Конструкции резервуара**

Основные конструктивные элементы резервуара для хранения нефти делят на несущие и ограждающие.

Несущими являются: стенка, в том числе врезки патрубков и люков, бескаркасная крыша, анкерное крепление стенок, окрайка днища, каркас и опорное кольцо жесткости.

Ограждающие: настил стационарной крыши, центральная часть днища, понтон, плавающая крыша.

## **Конструкция крыш**

### **Коническая каркасная оболочка крыши**

Конические каркасные крыши используются для резервуаров с объемами от 1 тыс. м<sup>3</sup> до 5 тыс. м<sup>3</sup>. В ее состав входят изготовленные на заводе секторные каркасы, центральный щит, кольцевые элементы каркаса и рулонированное полотнище настила. Так же, как и монтаж традиционных щитовых крыш, монтаж каркаса производится по мере развертывания рулона стенки. После того, как соединили между собой каркасы кольцевыми элементами на них укладывают полотнища настила, заранее развернутые недалеко от днища резервуара. Полотнища свариваются друг с другом, а затем припаиваются по периметру к уголку стенки. Не допускается закрепление полотнищ к элементам каркаса.

Чтобы не допустить разрушения стенок резервуара, а также ее отрыва от днища при превышении внутреннего давления аварийного, каркасные крыши проектируют во взрывозащищенном исполнении так, чтобы произошел отрыв сварного шва приварки настила к стенке. Также, взрывозащищенная крыша выполняет роль аварийного клапана, который в случае чего сбрасывает давление внутри резервуара, сохраняя конструкцию и находящийся внутри продукт.

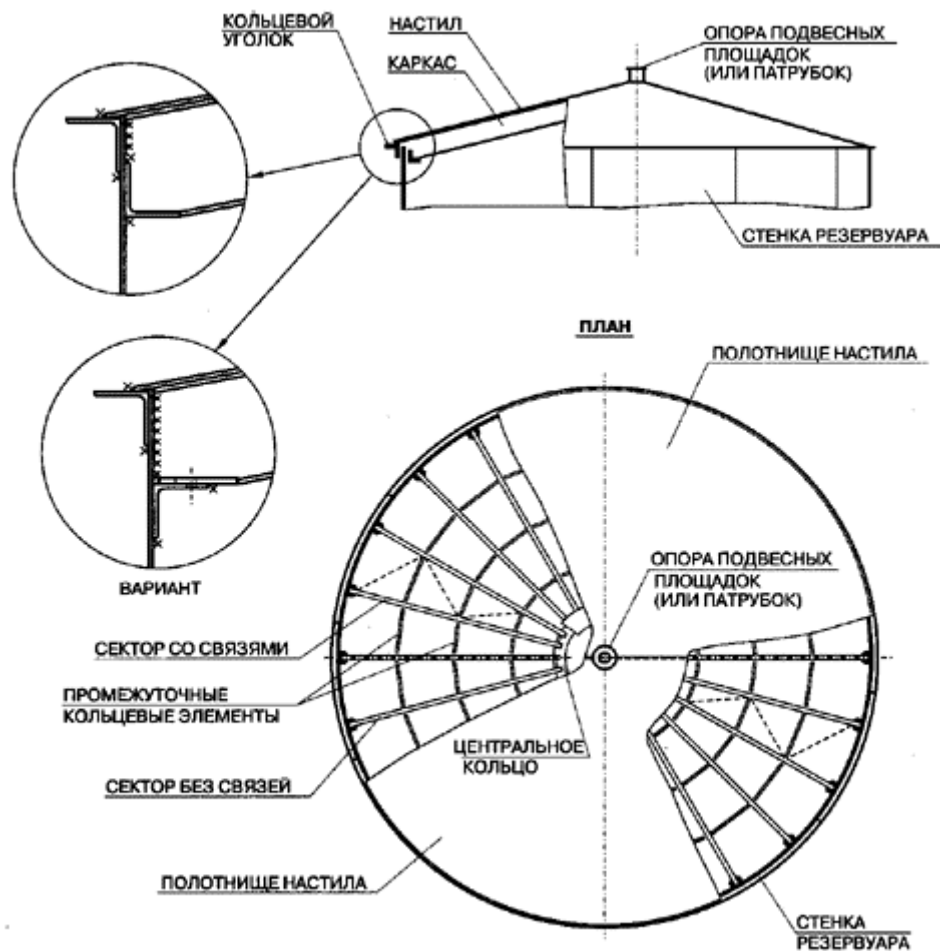


Рисунок 3 – Коническая каркасная крыша

### Каркасная купольная (сферическая) крыша

Купольные каркасные крыши используются для вертикальных резервуаров с объемами не менее 5 тыс. м<sup>3</sup>, и диаметром не больше чем 50 м. Покрытие представляет собой крышу стационарной конструкции в сферической форме имеющая радиально-кольцевую каркасную систему. При проектировке радиус сферы выбирают так, чтобы она была в пределах от 0,8 до 1,5 диаметров резервуара. В ее состав входят: 1 – центральный щит; 2 – вальцованный радиальный балок; 3 – кольцевые элементы каркаса; 4 – кольца жесткости по периметру; 5 – листы настила.

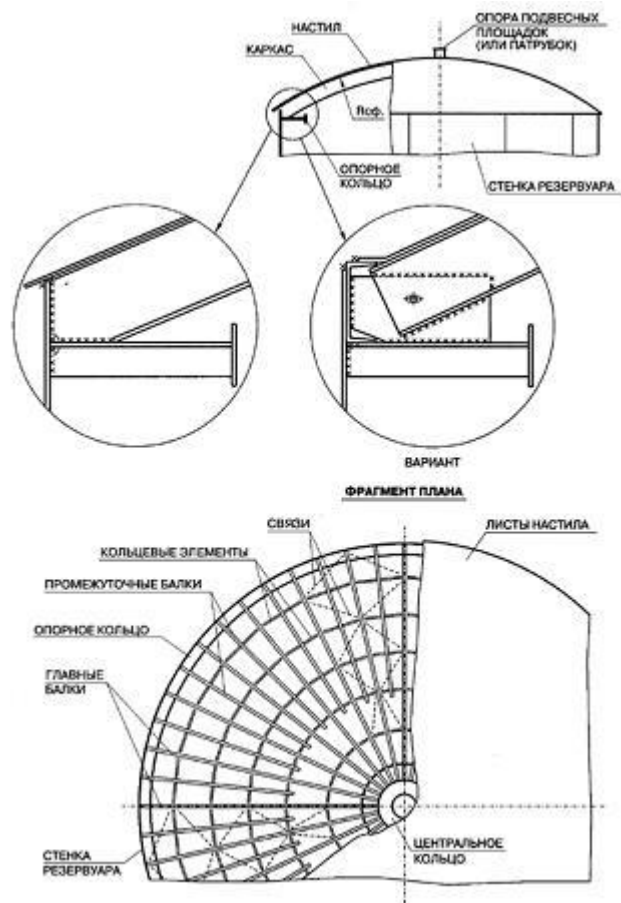


Рисунок 4 – Каркасная купольная крыша

Самонесущие купольные, или же сферические крыши должны соответствовать следующим требованиям ( $D$  – диаметр стенки резервуара):

- наименьший радиус сферической поверхности равен  $0,8D$ ;
- наибольший радиус –  $1,5D$ ;
- наименьшая толщина настила – 5мм.

Данные элементы изготавливаются заводом-изготовителем и доставляются на место монтажа в виде готовых щитков и отдельных элементов настила и каркаса. Чтобы не допустить разрушения стенок резервуара при превышении внутреннего давления аварийного, сферические крыши изготавливают во взрывозащищенном исполнении. Для этого настил, представляющую собой подготовленные для листовой сборки металлические листы или же крупногабаритные карты, крепится



только на окаймляющий элемент вдоль окружности крыши. Таким образом сохраняется стенка резервуара и его целостное крепление к днищу.

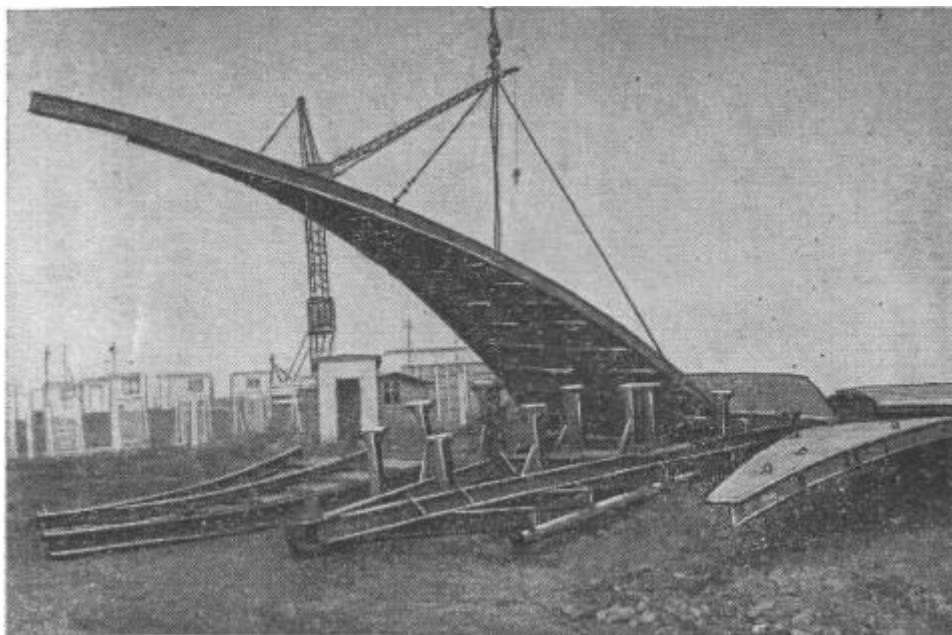


Рисунок 5 – Щит сферического покрытия резервуара

В центре покрытия устанавливается центральный щит диаметром 3 м. Щиты между собой соединяются внахлест. Все щиты, не считая начального и замыкающего, соединены с одной стороны со стропильной ногой, а с другой окантованы уголком. Стропильная нога и уголок имеют горизонтальные связи, выполненные из уголков. Начальный щит имеет с двух сторон стропильные ноги, а замыкающий – окантовки. Для удобства транспортировки все щиты разделены на два составляющих – треугольная и трапецеидальная. После доставки на место монтажа соединяют с помощью специального кондуктора.

### **Конструкция днища резервуара**

Так как большую часть нагрузки днище испытывает от давления жидкости, толщину подбирают так, чтобы сварочные работы не доставляли трудностей и были выполнены надежно, а также учитывается и припуск на коррозию. Днище резервуара имеют коническую форму с маленьким уклоном в сторону центра либо от нее.



Рисунок 6 – Днище резервуара

Рекомендуемая толщина днища не менее 4 мм без учета припуска на коррозию для резервуаров объемом не более 1000 м<sup>3</sup>. Днище резервуара объемом не менее 2000 м<sup>3</sup> должна иметь центральную часть толщиной не менее 4 мм без учета припуска на коррозию и утолщенный кольцевой край толщиной не менее 6 мм.

### **Конструкция стенок резервуара**

Стенка резервуара представляет собой тонкостенную цилиндрическую оболочку, сваренную из металлических листов. Стенка состоит из ряда поясов, высотой равной ширине листа. Наименьшую толщину листов стенки принимают равной 4 мм. Наиболее часто используются металлические листы размерами 1500x6000, 1800x8000, 2000x8000 мм, и поэтому, в зависимости от назначенного типоразмера листа, высоту резервуара выбирают такой чтобы она была кратной 1490, 1790, 1990 мм, и длиной окружности кратной 5990 или 7990 мм. С учетом материала при необходимости корректировки листов.

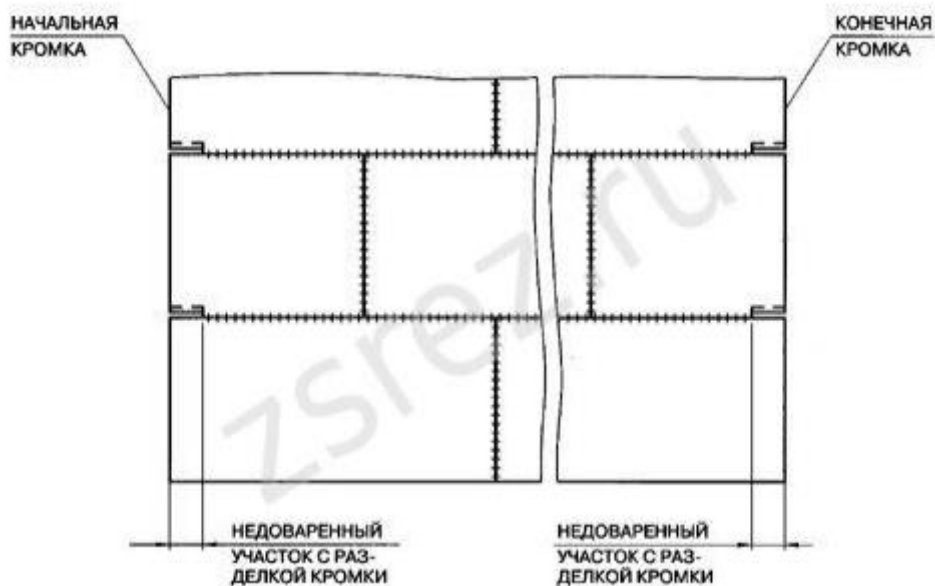


Рисунок 7 – Полотнище стенок резервуара

Стенка изготавливается методом рулонирования. В результате обрезки технологического припуска полотнища по длине (150-300 мм), образуется зубчатый монтажный стык стенки.



Рисунок 8 – Зубчатый монтажный стык стенки резервуара

Монтаж со ступенчатыми стыками для улучшения качества стенки используют в зоне монтажного стыка стойки из труб с опорными столиками, на которые закрепляют шаблоны по каждому поясу.

## 2.5 Монтаж

Монтажом называется производственный процесс, при помощи которых осуществляется сборка и установка оборудования, отдельно взятых конструкций или сооружения в целом, изготовленных на заводе целиком или по частям.

После транспортировки к месту эксплуатации проводится монтаж резервуара в соответствии со всеми требованиями.

Подготовка к монтажу начинается с открытия котлована, установки свай, которые забиваются под всем днищем в виде сплошного свайного поля. Верхняя часть фундамента выполняется в виде сплошного железобетонного покрытия. Сверху на фундамент накладывается и уплотняется гидрофобный слой. Также в обязательном порядке к месту монтажа должны быть подведены электроснабжение для работы со сварочными аппаратами и монтажными кранами. Устраивают пути под краны. Рядом с монтажной площадкой сооружаются бытовые помещения, склады для хранения инструментов и рабочие комнаты.

Следующим этапом является монтаж непосредственно металлоконструкций. Монтаж проводится в зависимости от метода производства основных частей резервуара.

Все работы производятся в соответствии с рабочей документацией. Основными исполнительными документами являются журналы и акты выполненных работ, испытаний и освидетельствований.

Выбор способа монтажа резервуара проводится из действующей нормативной базой РФ:

- ВСН 311-89 [5];
- ГОСТ 31385-2016 [1];
- СТО-СА-03-002-2009 [6];

- ГОСТ 17032-2010 [7].

Выбор способа монтажа зависит от конструкции самого резервуара и его месторасположения.

## **2.6 Общие сведения о применяемом резервуаре**

Вертикальный цилиндрический стальной резервуар РВС-10000 предназначен для приема, отпуска и хранения углеводородного сырья объемом 10 тыс. м<sup>3</sup> и плотностью не более 0,9 т/м<sup>3</sup>. Масса конструкции составляет 240 тонн. Относится к III классу опасности. Поставляются следующие модификации РВС-10000:

- со стационарной крышей;
- с понтоном;
- с плавающей крышей;
- двустенный (или с защитной стенкой).

В зависимости от условий эксплуатации используют различные марки сталей для производства металлоконструкции:

- из малоуглеродистой стали;
- из низколегированной стали;
- из нержавеющей стали.

Резервуар изготавливается по проекту на заводе-изготовителе. При изготовлении широко применяются отечественные промышленные методы рулонирования отличившиеся качеством и быстротой проведения монтажных работ за счет перенесения значительной части сварочно-монтажных работ и укрупненных блоков на заводские условия.

Данный резервуар эксплуатируется в различных географических регионах, отличающихся климатом, грунтом и сейсмическими условиями.



Рисунок 9 – Резервуар РВС-10000

### **Назначение и конструкция РВС-10000**

В зависимости от климатических условий резервуары эксплуатируются при разных температурах окружающей среды, так в зимнее время поддерживается рабочее состояние нефтехранилища до минус 60 °С и до плюс 50 °С в летний период. Стоит отметить что температура продукта в резервуаре также различна. Поэтому выбор той или иной конструкции резервуара для хранения углеводородного сырья должна рассматриваться с точки зрения технико-экономических расчетов с учетом условий климата, эксплуатации и характеристики хранимого сырья, а также должны быть учтены максимальные снижения потерь.

Основными конструктивными элементами данного резервуара являются:

- днище;
- цилиндрическая стенка;
- крыша (стационарная, понтон либо плавающая);
- лестница и площадка с ограждением.

По желанию заказчика и требованиям к эксплуатации обрабатывается антикоррозионной защитой (АКЗ) и оснащается теплоизоляцией (ТИ).

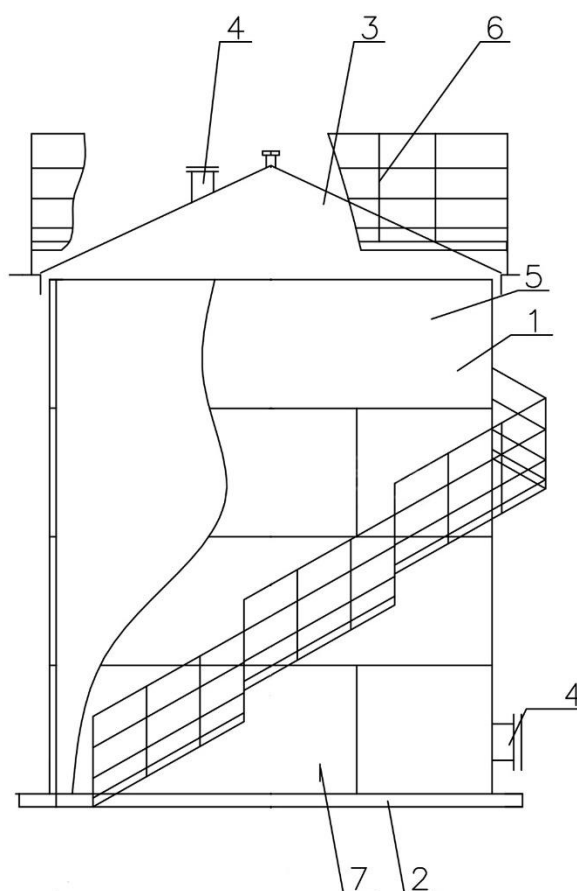


Рисунок 10 – Схема вертикального резервуара PVC-10000 м<sup>3</sup>

1 – стенка; 2 – днище; 3 – крыша; 4 – люки и патрубки; 5 – винтовая лестница; 6 – площадки и ограждения; 7 – крепление заземления.

Таблица 1.1 – Техническая характеристика PVC-10000

Номинальный объем, м <sup>3</sup>	10000	
Внутренний диаметр стенки, мм	34200	28500
Высота стенки, мм	12000	17880
Плотность продукта, т/м <sup>3</sup>	0,9	0,9
Расчетная высота налива, мм	11200	17100
Стенка PVC–10000:		

Количество поясов, шт	8	12
Припуск на коррозию, мм	–	–
Толщина верхнего пояса, мм	8	8
Толщина нижнего пояса, мм	10	13
Днище РВС–10000:		
Количество окраек, шт	18	16
Припуск на коррозию, мм	–	–
Толщина центральной части, мм	5	5
Толщина окраек, мм	9	10
Крыша РВС–10000:		
Количество балок, шт.	32	28
Припуск на коррозию, мм	–	–
Несущий элемент	I 25Б1	I 20Б1
Толщина настила, мм	5	5
Масса конструкций РВС–10000, кг:		
Стенка	86772	120924
Днище	42149	30898
Крыша	78607	54648
Лестница	6023	1680
Площадки на крыше	1214	5019
Люки и патрубки	2595	2595
Комплекующие конструкции	2986	2986
Каркасы и упаковка	14000	21484
Всего	234346	240243



### **3. Методика расчетов конструкции резервуара**

Все расчеты поясов стенки резервуара регламентируются следующими нормативными документами, такими как: ГОСТ 31385-2016 Резервуары вертикальные цилиндрические стальные для нефти и нефтепродуктов. Общие технические условия [1], СП 16.13330.2017 «Стальные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-23-81\*» [3] и СП 20.13330.2016 Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85\* [4].

Кроме основных межгосударственных стандартов и сводов правил, в организации есть еще свои внутренние стандарты, которые при проектировании и расчете резервуаров обязательно учитываются проектировщиками.

#### **3.1 Постоянные и временные нагрузки, действующие на резервуар**

К постоянным нагрузкам относятся нагрузки от собственных весов конструктивных элементов резервуара.

К временным нагрузкам относят:

- Гидростатическое давление продукта и воды на стенку резервуара для условий эксплуатации и гидравлических испытаний соответственно;
- Избыточное давление в паровоздушной зоне;
- Вакуум при снижении температуры воздуха или при опорожнении емкости;
- Снеговые нагрузки;
- Ветровые нагрузки;
- Нагрузку от веса стационарного оборудования;
- Нагрузки от веса людей, инструментов, ремонтных материалов.

### 3.2 Исходные данные для расчета на прочность и устойчивость стенки РВС

Для расчета примем вертикальный цилиндрический стальной резервуар объемом 10000 м<sup>3</sup>. Исходные данные которого занесем в таблицу 3.1.

Таблица 3.1 – Исходные данные для расчета

Наименование	Обозначение	Единица измерения	Величина
Номинальный объем	$V$	м <sup>3</sup>	10000
Высота стенки	$H_{cm}$	м	12
Внутренний диаметр стенки	$D$	м	34,2
Расчетный уровень налива при эксплуатации и гидравлических испытаниях	$H=H_g$	м	11,2
Количество поясов	$n$	м	8
Масса конструкций РВС-10000:			
Крыша		МН	0,771
Лестница		МН	0,059
Площади на крыше		МН	0,012
Комплекующие конструкции		МН	0,029
Люки и патрубки		МН	0,026

Примем сталь, из которой изготовлен резервуар СтЗсп5 (аналог стали С245), для которого предел текучести равен 245 МПа, а плотность 7850 кг/м<sup>3</sup>. Листовой прокат размером 1,5×6 м. Плотность продукта примем равной 0,9 т/м<sup>3</sup>. Резервуар укомплектован каркасной сферической стационарной крышей сетчатого исполнения, площадками на крыше, люками и патрубками, шахтной лестницей и комплекующими конструкциями. Теплоизоляцией пренебрежем.

### 3.3 Предварительный выбор толщин поясов стенки

Расчет выполняем в соответствии с ГОСТ 31385-2016 Резервуары вертикальные цилиндрические стальные для нефти и нефтепродуктов. Номинальные толщины поясов стенки следует определять в соответствии с действующими нормативными документами. В условиях нормальной эксплуатации и гидравлических испытаний резервуара для основных сочетаний нагрузки следует выполнять расчет на прочность, так и расчет на устойчивость стенки резервуара.

Номинальные толщины листов металла поясов стенки резервуара следует выбирать из сортамента на листовый прокат так, чтобы выполнялись следующие неравенства:

$$t \geq \max(t_d + \Delta t_c; t_g; t_h) + \Delta t_m, \quad t \leq 40 \text{ мм}, \quad (3.1)$$

где  $t_d$ ,  $t_g$  – расчетные толщины поясов стенки при действии статических нагрузок при эксплуатации и гидравлических испытаниях соответственно;

$t_h$  – минимально конструктивная толщина стенки, определяется по таблице 3.2;

$\Delta t_c$  – припуск на коррозию металла стенки;

$\Delta t_m$  – минусовой допуск на листовый прокат, указанный в сертификате на поставку металла (если  $\Delta t_m \leq 0,3$  мм, то допускается в расчетах принимать  $\Delta t_m = 0$ ).

Таблица 3.2 – Минимальная конструктивная толщина листов стенки резервуаров в зависимости от его диаметра

Диаметр резервуара, м	Минимальная толщина листа стенки резервуара $t_h$ , мм
До 10 включительно	4
Свыше 10 до 16 включ.	5

Свыше 16 до 25 включ.	6
Свыше 25 до 40 включ.	8
Свыше 40 до 65 включ.	10
Свыше 65	12

В соответствии с таблицей 3 ГОСТ 19903-2015 «Прокат листовой горячекатаный. Сортамент», при толщине листового проката свыше 7,5 мм до 15,0 мм включительно предельные минусовые отклонения листового проката следует принять 0,80 мм.

Величина припуска на коррозию задается заказчиком и зависит только от агрессивности хранимого продукта и нормативного срока его эксплуатации. Примем срок службы резервуара равным 20 лет, тогда для среды со средней скоростью коррозии металла до 0,05 мм/год величина припуска на коррозию составит 1 мм.

При действии основных сочетаний нагрузок расчетную толщину  $i$  – го пояса стенки резервуара из условия прочности следует определять на уровне, соответствующему максимальным кольцевым напряжениям в срединной поверхности пояса по формулам:

$$\begin{aligned}
 t_{di} &= \left[ 0,001 \rho_d g (H_d - z_i) + 1,2p \right] \frac{r}{R} \\
 t_{gi} &= \left[ 0,001 \rho_g g (H_g - z_i) + 1,25p \right] \frac{r}{R},
 \end{aligned}
 \tag{3.2}$$

где  $r$  – радиус резервуара,  $r = 17,1$  м;

$t_{di}$ ,  $t_{gi}$  – расчетные толщины  $i$ -го пояса для эксплуатации и гидравлических испытаний, м;

$z_i$  – расстояние от днища до нижней кромки  $i$ -го пояса, м;

$H_d$ ,  $H_g$  – расчетные уровни налива продукта и воды для эксплуатации и гидравлических испытаний соответственно, м;

$\rho_d, \rho_g$  – плотность продукта и воды для эксплуатации и гидравлических испытаний соответственно,  $\rho_d = 0,9 \text{ т/м}^3$ ,  $\rho_g = 1 \text{ т/м}^3$ ;

$g$  – ускорение свободного падения,  $g = 9,8 \text{ м/с}^2$ ;

$p$  – нормативное избыточное давление в газовом пространстве, МПа, определяемое по таблице 3.3 в соответствии с документом РД 16.01-60.30.00-КТН-026-1-04 [8];

$R$  – расчетный параметр, МПа.

Таблица 3.3 – Значения нормативного избыточного давления и вакуума в газовом пространстве резервуара

Тип резервуара	Нормативное давление, кПа	
	Избыточное	вакуум
РВС	2,0	0,25
РВСП	0,2	0,2

Определим расчетный параметр  $R$  по формуле:

$$R = \frac{R_{yn} \gamma_c \gamma_t}{\gamma_m \gamma_n}, \quad (3.3)$$

где  $R_{yn}$  – нормативное сопротивление, принимаемое равным гарантированному значению предела текучести по действующим стандартам и ТУ на сталь, для стали СтЗсп5,  $R_{yn} = 245 \text{ МПа}$ ;

$\gamma_c$  – безразмерный коэффициент условий работы поясов стенки, назначается в соответствии с таблицей 5 ГОСТ 31385-2016 [1], для условий эксплуатации для первого пояса  $\gamma_c = 0,7$ , для остальных поясов  $\gamma_c = 0,8$ , а для условий гидравлических испытаний  $\gamma_c = 0,9$ ;

$\gamma_m$  – безразмерный коэффициент надежности по материалу, определяется в соответствии с таблицей 3 СП 16.13330.2017 «СНиП II-23-81\* Стальные конструкции» [3],  $\gamma_m = 1,025$ ;

$\gamma_n$  – безразмерный коэффициент надежности по ответственности, назначается в соответствии с таблицей 4 ГОСТ 31385-2016 [1],  $\gamma_n = 1,05$ ;

$\gamma_t$  – безразмерный температурный коэффициент, при  $T \leq 100^\circ\text{C}$ ,  $\gamma_t = 1$ .

Подставим значения и найдем значения расчетного параметра  $R$ , используя формулу (3.3):

В условиях эксплуатации:

Для 1-го пояса стенки:

$$R = \frac{R_{yn} \gamma_c \gamma_t}{\gamma_m \gamma_n} = \frac{245 \cdot 10^6 \cdot 0,7 \cdot 1}{1,025 \cdot 1,05} = 159 \text{ (МПа)}.$$

Для остальных поясов стенки:

$$R = \frac{R_{yn} \gamma_c \gamma_t}{\gamma_m \gamma_n} = \frac{245 \cdot 10^6 \cdot 0,8 \cdot 1}{1,025 \cdot 1,05} = 182 \text{ (МПа)}.$$

В условиях гидравлических испытаний:

$$R = \frac{R_{yn} \gamma_c \gamma_t}{\gamma_m \gamma_n} = \frac{245 \cdot 10^6 \cdot 0,9 \cdot 1}{1,025 \cdot 1,05} = 205 \text{ (МПа)}.$$

Определим расчетную толщину стенки для каждого пояса из условия прочности при действии основных сочетаний нагрузок для условий эксплуатации и гидравлических испытаний по формуле (3.2) и назначим для них номинальные толщины в соответствии с условием формулы (3.1):

Для 1-го пояса:

$$t_{d1} = [0,001 \cdot 0,9 \cdot 9,81 \cdot (11,2 - 0) + 1,2 \cdot 0,002] \cdot \frac{17,1}{159} = 10,9 \text{ (мм)};$$

$$t_{g1} = [0,001 \cdot 1 \cdot 9,81 \cdot (11,2 - 0) + 1,25 \cdot 0,002] \cdot \frac{17,1}{205} = 9,4 \text{ (мм)};$$

$$t_1 \geq \max(10,9 + 1; 9,4; 8) + 0,8 \text{ (мм)}.$$

Принимаем номинальную толщину стенки  $t_1 = 13$  мм.

Для 2-го пояса:

$$t_{d1} = [0,001 \cdot 0,9 \cdot 9,81 \cdot (11,2 - 1 \cdot 1,5) + 1,2 \cdot 0,002] \cdot \frac{17,1}{182} = 8,3 \text{ (мм)};$$

$$t_{g1} = [0,001 \cdot 1 \cdot 9,81 \cdot (11,2 - 1 \cdot 1,5) + 1,25 \cdot 0,002] \cdot \frac{17,1}{205} = 8,2 \text{ (мм)};$$

$$t_1 \geq \max(8,3 + 1; 8,2; 8) + 0,8 \text{ (мм)}.$$

Принимаем номинальную толщину стенки  $t_2 = 11$  мм.

Для 3-го пояса:

$$t_{d1} = [0,001 \cdot 0,9 \cdot 9,81 \cdot (11,2 - 2 \cdot 1,5) + 1,2 \cdot 0,002] \cdot \frac{17,1}{182} = 7,3 \text{ (мм)};$$

$$t_{g1} = [0,001 \cdot 1 \cdot 9,81 \cdot (11,2 - 2 \cdot 1,5) + 1,25 \cdot 0,002] \cdot \frac{17,1}{205} = 7,1 \text{ (мм)};$$

$$t_1 \geq \max(7,3 + 1; 7,1; 8) + 0,8 \text{ (мм)}.$$

Принимаем номинальную толщину стенки  $t_3 = 10$  мм.

Для 4-го пояса:

$$t_{d1} = [0,001 \cdot 0,9 \cdot 9,81 \cdot (11,2 - 3 \cdot 1,5) + 1,2 \cdot 0,002] \cdot \frac{17,1}{182} = 5,8 \text{ (мм)};$$

$$t_{g1} = [0,001 \cdot 1 \cdot 9,81 \cdot (11,2 - 3 \cdot 1,5) + 1,25 \cdot 0,002] \cdot \frac{17,1}{205} = 5,7 \text{ (мм)};$$

$$t_1 \geq \max(5,8 + 1; 5,7; 8) + 0,8 \text{ (мм)}.$$

Принимаем номинальную толщину стенки  $t_4 = 9$  мм.

Для 5-го пояса:

$$t_{d1} = [0,001 \cdot 0,9 \cdot 9,81 \cdot (11,2 - 4 \cdot 1,5) + 1,2 \cdot 0,002] \cdot \frac{17,1}{182} = 4,5 \text{ (мм)};$$

$$t_{g1} = [0,001 \cdot 1 \cdot 9,81 \cdot (11,2 - 4 \cdot 1,5) + 1,25 \cdot 0,002] \cdot \frac{17,1}{205} = 4,5 \text{ (мм)};$$

$$t_1 \geq \max(4,5 + 1; 4,5; 8) + 0,8 \text{ (мм)}.$$

Принимаем номинальную толщину стенки  $t_5 = 9$  мм.

Для 6-го пояса:

$$t_{d1} = [0,001 \cdot 0,9 \cdot 9,81 \cdot (11,2 - 5 \cdot 1,5) + 1,2 \cdot 0,002] \cdot \frac{17,1}{182} = 3,3 \text{ (мм)};$$

$$t_{g1} = [0,001 \cdot 1 \cdot 9,81 \cdot (11,2 - 5 \cdot 1,5) + 1,25 \cdot 0,002] \cdot \frac{17,1}{205} = 3,2 \text{ (мм)};$$

$$t_1 \geq \max(3,3 + 1; 3,2; 8) + 0,8 \text{ (мм)}.$$

Принимаем номинальную толщину стенки  $t_6 = 9$  мм.

Для 7-го пояса:

$$t_{d1} = [0,001 \cdot 0,9 \cdot 9,81 \cdot (11,2 - 6 \cdot 1,5) + 1,2 \cdot 0,002] \cdot \frac{17,1}{182} = 2,0 \text{ (мм)};$$

$$t_{g1} = [0,001 \cdot 1 \cdot 9,81 \cdot (11,2 - 6 \cdot 1,5) + 1,25 \cdot 0,002] \cdot \frac{17,1}{205} = 2,0 \text{ (мм)};$$

$$t_1 \geq \max(2,0 + 1; 2,0; 8) + 0,8 \text{ (мм)}.$$

Принимаем номинальную толщину стенки  $t_7 = 9$  мм.

Для 8-го пояса:

$$t_{d1} = [0,001 \cdot 0,9 \cdot 9,81 \cdot (11,2 - 7 \cdot 1,5) + 1,2 \cdot 0,002] \cdot \frac{17,1}{182} = 0,8 \text{ (мм)};$$



$$t_{g1} = [0,001 \cdot 1 \cdot 9,81 \cdot (11,2 - 7 \cdot 1,5) + 1,25 \cdot 0,002] \cdot \frac{17,1}{205} = 0,8 \text{ (мм)};$$

$$t_1 \geq \max(0,8 + 1; 0,8; 8) + 0,8 \text{ (мм)}.$$

Принимаем номинальную толщину стенки  $t_8 = 9$  мм.

Занесем все рассчитанные величины в общую сводную таблицу 3.4.

Таблица 3.4 – Общая сводная таблица

Номер пояса	$t_d + \Delta t_c$	$t_g$	$t_h$	$t_{max}$	$t_{max} + \Delta t_m$	$t_{приним}$
1	11,9	9,4	8	11,9	12,7	13
2	9,3	8,2	8	9,3	10,1	11
3	8,3	7,1	8	8,3	9,1	10
4	6,8	5,7	8	8	8,8	9
5	5,5	4,5	8	8	8,8	9
6	4,3	3,2	8	8	8,8	9
7	3,0	2,0	8	8	8,8	9
8	1,8	0,8	8	8	8,8	9

### 3.4 Проверка стенки на прочность

Проверочный расчет на прочность поясов стенки резервуара осуществляется в соответствии с ГОСТ 31385-2016 [1], по формуле:

$$\left( \sigma_1^2 - \sigma_1 \cdot \sigma_{2k} + \sigma_{2k}^2 \right)^{0,5} \leq R, \quad (3.5)$$

где  $\sigma_{2k}$  – кольцевое напряжение, МПа вычисляемое для нижней точки каждого пояса по формуле:

$$\sigma_{2k} = \left[ 0,001 \rho g (H - x_L) + 1,2p \right] \frac{r}{t_{ir}}, \quad (3.6)$$

где  $\rho$  – плотность продукта, равная 0,9 т/м<sup>3</sup>;

$g$  – ускорение свободного падения, равное 9,81 м/с<sup>2</sup>;

$H$  – высота налива продукта при эксплуатации,  $H = 11,2$  м;

$x_L$  – расстояние от дна до нижней кромки  $i$  – го пояса, м;

$p$  – нормативное избыточное давление в газовом пространстве, МПа, определяемое по таблице 3.3 в соответствии с документом РД 16.01-60.30.00-КТН-026-1-04 [8];

$r$  – радиус срединной поверхности стенки резервуара,  $r = 17,1$  м;

$t_{ir}$  – расчетная толщина  $i$  – го пояса, м;

Вычислим кольцевое напряжение для нижней точки первого пояса РВС, используя формулу (6):

$$\sigma_{2k_1} = [0,001 \cdot 0,9 \cdot 9,81 \cdot (11,2 - 0) + 1,2 \cdot 0,002] \cdot \frac{17,1}{0,013} = 133,23 \text{ (МПа)}.$$

Аналогичным способом вычисляем кольцевые напряжения для остальных поясов стенки и, для удобства, занесем их в таблицу 3.5:

Таблица 3.5 – Кольцевые напряжения нижних точек поясов резервуара

№ пояса	$\sigma_{2k_i}$ , МПа
1	133,23
2	136,86
3	127,90
4	116,95
5	91,79
6	66,63
7	41,47
8	16,30

Меридиональные напряжения  $\sigma_1$ , МПа, в  $i$  – м поясе стенки для резервуаров со стационарной крышей определяются по формуле

$$\sigma_{li} = \frac{1,05G_M + 1,05\psi_1 G_O + 1,3\psi_2 G_t}{2\pi \cdot r \cdot t_{ir}} + \frac{1,4 \cdot 0,7c_e p_s + 1,2\psi_3 p_v}{t_{ir}} \cdot \frac{r}{2}, \quad (3.7)$$

где  $G_M$  – вес металлоконструкции выше расчетной точки, МН;

$G_O$  – вес стационарного оборудования выше расчетной точки, МН;

$G_t$  – вес теплоизоляции выше расчетной точки, МН;

$p_s$  – расчетная снеговая нагрузка на поверхности земли, МПа, определяемая по СП 20.13330.2016 «Свод правил «СНиП 2.01.07-85\* Нагрузки и воздействия» [4];

$p_v$  – нормативное значение вакуума, МПа, определяемое по таблице 3.3 в соответствии с документом РД-23.020.00-КТН-018-14;

$c_e = 0,85$  при  $D \leq 60$  м;

$r$  – радиус резервуара, м;

$\psi_1, \psi_2, \psi_3$  – коэффициенты сочетаний соответственно для длительных и кратковременных нагрузок, назначаемые в соответствии с пп. 6.2-6.4 СП 20.13330.2016 [4].

Примем вес теплоизоляции равным нулю, тогда формула примет вид:

$$\sigma_{li} = \frac{1,05G_M + 1,05\psi_1 G_O}{2 \cdot \pi \cdot r \cdot t_{ir}} + \frac{1,4 \cdot 0,7c_e p_s + 1,2\psi_3 p_v}{t_{ir}} \cdot \frac{r}{2}. \quad (3.8)$$

Вес металлоконструкции выше расчетной точки складывается из массы стенки и крыши по формуле:

$$G_M = G_{M, \text{стенки}} + G_{M, \text{крыши}}, \quad (3.9)$$

где  $G_{M, \text{стенки}}$  – вес металлоконструкции стенки выше расчетной точки, МН;

$G_{M, \text{крыши}}$  – вес металлоконструкции крыши выше расчетной точки, МН;

Вес каждого пояса определяется по формуле:

$$G_{M, \Pi_i} = 2 \cdot \pi \cdot r \cdot h_{\text{л}} \cdot t_i \cdot \rho_{\text{ст}} \cdot g, \quad (3.10)$$

где  $r$  – радиус резервуара;

$h_{\text{л}}$  – высота листа;

$t_i$  – номинальная толщина стенки  $i$  – го пояса, м;

$\rho_{\text{ст}}$  – плотность стали, кг/м<sup>3</sup>;

$g$  – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>.

Вес металлоконструкции стенки выше расчетной точки определяется по формуле:

$$G_{M, \text{стенки}_i} = \sum_{k=i}^8 G_{M, \Pi_k}. \quad (3.11)$$

Подставляя значения в формулу (3.10), определим вес каждого пояса стенки:

$$G_{M, \Pi_1} = 2 \cdot 3,14 \cdot 17,1 \cdot 1,5 \cdot 0,013 \cdot 7850 \cdot 9,81 = 0,1613 \text{ (МН)};$$

$$G_{M, \Pi_2} = 2 \cdot 3,14 \cdot 17,1 \cdot 1,5 \cdot 0,011 \cdot 7850 \cdot 9,81 = 0,1365 \text{ (МН)};$$

$$G_{M, \Pi_3} = 2 \cdot 3,14 \cdot 17,1 \cdot 1,5 \cdot 0,010 \cdot 7850 \cdot 9,81 = 0,1241 \text{ (МН)};$$

$$G_{M, \Pi_{4-8}} = 2 \cdot 3,14 \cdot 17,1 \cdot 1,5 \cdot 0,009 \cdot 7850 \cdot 9,81 = 0,1117 \text{ (МН)}.$$

Зная вес каждого пояса, вычислим вес металлоконструкции стенки выше расчетных точек по формуле (3.11):

$$G_{M, \text{стенки}_1} = 0,1613 + 0,1365 + 0,1241 + 5 \cdot 0,1117 = 0,9804 \text{ (МН)};$$

$$G_{M, \text{стенки}_2} = 0,1365 + 0,1241 + 5 \cdot 0,1117 = 0,8191 \text{ (МН)};$$

$$G_{M, \text{стенки}_3} = 0,1241 + 5 \cdot 0,1117 = 0,6826 \text{ (МН)};$$

$$G_{M, \text{стенки}_4} = 5 \cdot 0,1117 = 0,5585 \text{ (МН)};$$

$$G_{M, \text{стенки}_5} = 4 \cdot 0,1117 = 0,4468 \text{ (МН)};$$

$$G_{M, \text{стенки}_6} = 3 \cdot 0,1117 = 0,3351 \text{ (МН)};$$

$$G_{M, \text{стенки}_7} = 2 \cdot 0,1117 = 0,2234 \text{ (МН)};$$

$$G_{M, \text{стенки}_8} = 0,1117 \text{ (МН)}.$$

Вес металлоконструкции крыши из таблицы 3.1 равен  $G_{M, \text{крыши}} = 0,771$

МН, тогда, по формуле (3.9) имеем:

$$G_{M_1} = 0,9804 + 0,771 = 1,7514 \text{ (МН)};$$

$$G_{M_2} = 0,8191 + 0,771 = 1,5901 \text{ (МН)};$$

$$G_{M_3} = 0,6826 + 0,771 = 1,4536 \text{ (МН)};$$

$$G_{M_4} = 0,5585 + 0,771 = 1,3295 \text{ (МН)};$$

$$G_{M_5} = 0,4468 + 0,771 = 1,2178 \text{ (МН)};$$

$$G_{M_6} = 0,3351 + 0,771 = 1,1061 \text{ (МН)};$$

$$G_{M_7} = 0,2234 + 0,771 = 0,9944 \text{ (МН)};$$

$$G_{M_8} = 0,1117 + 0,771 = 0,8827 \text{ (МН)}.$$

Масса стационарного оборудования складывается из массы лестницы, площадок на крыше и комплектующих конструкций и рассчитывается по формуле:

$$G_O = G_{O, \text{лестницы}} + G_{O, \text{площадок}} + G_{O, \text{кк}}. \quad (3.12)$$

Рассчитаем массу стационарного оборудования по формуле (3.12):

$$G_O = 0,059 + 0,012 + 0,029 = 0,1 \text{ (МН)}.$$

Нормативное значение снеговой нагрузки следует определять по формуле:

$$p_s = 0,7 c_e c_t \mu S_g. \quad (3.13)$$

где  $c_e$  – коэффициент, учитывающий снос снега с покрытий под действием ветра или иных факторов, принимаемый в соответствии с 10.5-10.9 СП 20.13330.2016 Нагрузки и воздействия [4].

$c_t$  – термический коэффициент, принимаемый в соответствии с п. 10.10 СП 20.13330.2016 Нагрузки и воздействия [4].

$\mu$  – коэффициент перехода от веса снегового покрова земли к снеговой нагрузке на покрытие, принимаемый в соответствии с 10.4 СП 20.13330.2016 Нагрузки и воздействия [4].

$S_g$  – вес снегового покрова на 1 м<sup>2</sup> горизонтальной поверхности земли, принимаемый в соответствии 10.2 СП 20.13330.2016 Нагрузки и воздействия [4].

Нормативное значение снеговой нагрузки по формуле (3.13):

$$p_s = 0,7 \cdot 0,85 \cdot 0,8 \cdot 1 \cdot 2,4 = 0,00114 \text{ (МПа)}.$$

Вычислим меридиональные напряжения для каждого из поясов по формуле (3.8):

$$\sigma_{1,1} = \frac{1,05 \cdot 1,7514 + 1,05 \cdot 0,95 \cdot 0,1}{2 \cdot 3,14 \cdot 17,1 \cdot 0,013} + \frac{1,4 \cdot 0,7 \cdot 0,85 \cdot 0,00114 + 1,2 \cdot 0,9 \cdot 0,00025}{0,013} \cdot \frac{17,1}{2} = 2,19$$

(МПа).

Аналогично вычисляем меридиональные напряжения для остальных поясов стенки и занесем в таблицу 3.6:

Таблица 3.6 – Меридиональные напряжения нижних точек поясов резервуара

№ пояса	$\sigma_{1,i}$ , МПа
1	2,19
2	2,45
3	2,56
4	2,71
5	2,58
6	2,46
7	2,34
8	2,22

Подставляя значения в формулу (3.5), проверим на условие прочности каждый пояс стенки резервуара:

Для 1-го пояса:

$$\left( 2,19^2 - 2,19 \cdot 133,23 + 133,23^2 \right)^{0,5} \leq 159 \text{ (МПа);}$$

$$132,2 \leq 159 \text{ (МПа).}$$

Для 2-го пояса:

$$\left( 2,45^2 - 2,45 \cdot 136,86 + 136,86^2 \right)^{0,5} \leq 182 \text{ (МПа);}$$

$$135,7 \leq 182 \text{ (МПа).}$$

Для 3-го пояса:

$$\left(2,56^2 - 2,56 \cdot 127,90 + 127,90^2\right)^{0,5} \leq 182 \text{ (МПа);}$$

$$126,7 \leq 182 \text{ (МПа).}$$

Для 4-го пояса:

$$\left(2,71^2 - 2,71 \cdot 116,95 + 116,95^2\right)^{0,5} \leq 182 \text{ (МПа);}$$

$$115,7 \leq 182 \text{ (МПа).}$$

Для 5-го пояса:

$$\left(2,58^2 - 2,58 \cdot 91,79 + 91,79^2\right)^{0,5} \leq 182 \text{ (МПа);}$$

$$90,5 \leq 182 \text{ (МПа).}$$

Для 6-го пояса:

$$\left(2,46^2 - 2,46 \cdot 66,63 + 66,63^2\right)^{0,5} \leq 182 \text{ (МПа);}$$

$$65,4 \leq 182 \text{ (МПа).}$$

Для 7-го пояса:

$$\left(2,34^2 - 2,34 \cdot 41,47 + 41,47^2\right)^{0,5} \leq 182 \text{ (МПа);}$$

$$40,4 \leq 182.$$

Для 8-го пояса:

$$\left(2,22^2 - 2,22 \cdot 16,30 + 16,30^2\right)^{0,5} \leq 182 \text{ (МПа);}$$

$$15,3 \leq 182 \text{ (МПа).}$$

Условие прочности для всех поясов стенки резервуара выполняется.



### 3.5 Проверка стенки на устойчивость

Устойчивость стенки для основных сочетаний нагрузок (вес конструкций и теплоизоляции, вес снегового покрова, ветровая нагрузка, относительный вакуум в газовом пространстве) проверяется по формуле:

$$\frac{\sigma_1}{\sigma_{cr1}} + \frac{\sigma_2}{\sigma_{cr2}} \leq 1, \quad (3.14)$$

где  $\sigma_1, \sigma_2$  – меридиональные (вертикальные) и кольцевые напряжения в срединной поверхности каждого пояса стенки, МПа, определяемые от действия указанных нагрузок в соответствии с требованиями действующих нормативных документов\*;

\* На территории РФ действует СП 16.13330.2017 “СНиП II-23-81\* Стальные конструкции”.

$\sigma_{cr1}, \sigma_{cr2}$  – критические меридиональные и кольцевые напряжения, МПа, получаемые по формулам:

$$\sigma_{cr1} = C_0 \frac{E}{\delta}, \quad \sigma_{cr2} = 0,55 \frac{r}{H_r} \cdot \frac{E}{\sqrt{\delta^3}}, \quad \delta = \frac{r}{t_{min}}, \quad (3.15)$$

$$C_0 = \begin{cases} 0,04 + 40/\delta & \text{при } 400 \leq \delta < 1200; \\ 0,085 - 10^{-5} \delta & \text{при } 1220 \leq \delta < 2500; \\ 0,065 - 2 \cdot 10^{-6} \delta & \text{при } 2500 \leq \delta < 5000. \end{cases}, \quad (3.16)$$

$$H_r = \sum_{i=1}^n h_i \left( \frac{t_{min}}{t_i} \right)^{2,5}, \quad (3.17)$$

где  $E$  – модуль упругости стали, МПа;

$t_{min}$  – толщина самого тонкого пояса стенки (как правило, верхнего), представляющая его номинальную толщину за вычетом припуска на коррозию и минусового допуска на прокат, м;

$H_r$  – редуцированная высота стенки, м;

$n$  – количество поясов стенки;

$h$  – высота пояса, м;

индекс  $i$  в обозначениях указывает на принадлежность соответствующей величины к  $i$  – му поясу стенки.

Рассчитаем безразмерный параметр  $\delta$  по формуле (3.15):

$$\delta = \frac{17,1}{0,009} = 1900.$$

Исходя из полученного значения  $\delta$ , следует, что  $C_0$  определяется по второй формуле из (16):

$$C_0 = 0,085 - 1900 \cdot 10^{-5} = 0,06.$$

Вычислим критическое меридиональное напряжение, используя формулу (15):

$$\sigma_{cr1} = 0,06 \cdot \frac{2,1 \cdot 10^{11}}{1900} = 7,3 \text{ (МПа)}.$$

Найдем редуцированную высоту стенки резервуара по формуле (3.17):

$$H_r = 1,5 \left( \frac{0,009}{0,013} \right)^{2,5} + 1,5 \left( \frac{0,009}{0,011} \right)^{2,5} + 1,5 \left( \frac{0,009}{0,010} \right)^{2,5} + 5 \cdot 1,5 \left( \frac{0,009}{0,009} \right)^{2,5} = 10,16 \text{ (м)}.$$

Критическое кольцевое напряжение  $\sigma_{cr2}$  по формуле (3.15) будет равна:

$$\sigma_{cr2} = 0,55 \cdot \frac{17,1}{10,16} \cdot \frac{2,1 \cdot 10^{11}}{\sqrt{1900}} = 2,35 \text{ (МПа)}.$$

При расчете на устойчивость меридиональные и кольцевые напряжения будут определяться по следующим формулам:

Меридиональные напряжения  $\sigma_1$ , МПа, в  $i$  – м поясе стенки для резервуаров со стационарной крышей определяются по формуле:

$$\sigma_{1i} = \frac{1,05G_M + 1,05\psi_1 G_O + 1,3\psi_2 G_t}{2\pi \cdot r \cdot t_{ir}} + \frac{1,4 \cdot 0,7\psi_1 c_e p_s + 1,2\psi_3 p_v}{t_{ir}} \cdot \frac{r}{2}. \quad (18)$$

Примем вес теплоизоляции равным нулю, тогда формула примет вид:

$$\sigma_{1i} = \frac{1,05G_M + 1,05\psi_1 G_O}{2\pi \cdot r \cdot t_{ir}} + \frac{1,4 \cdot 0,7\psi_1 c_e p_s + 1,2\psi_3 p_v}{t_{ir}} \cdot \frac{r}{2}. \quad (3.19)$$

И сразу же определим меридиональные напряжения для каждого из поясов стенки в соответствии с формулой (3.19):

$$\sigma_{1,1} = \frac{1,05 \cdot 1,7514 + 1,05 \cdot 0,95 \cdot 0,1}{2 \cdot 3,14 \cdot 17,1 \cdot 0,013} + \frac{1,4 \cdot 0,7 \cdot 0,95 \cdot 0,85 \cdot 0,00114 + 1,2 \cdot 0,9 \cdot 0,00025}{0,013} \cdot \frac{17,1}{2} = 2,16$$

(МПа).

Аналогично вычисляем меридиональные напряжения для остальных поясов стенки и запишем в таблицу 3.7:

Таблица 3.7 – Меридиональные напряжения нижних точек поясов резервуара

№ пояса	$\sigma_{1,i}$ , МПа
1	2,16
2	2,41
3	2,52
4	2,66
5	2,54
6	2,42
7	2,30
8	2,18

Кольцевое напряжение  $\sigma_2$  в резервуарах со стационарной крышей зависит от  $p_v$  и эквивалентного ветрового внешнего давления  $p_w$ :

$$\sigma_{2i} = (1,2 \cdot \psi_{t3} \cdot p_v + 0,5 \cdot \psi_{t2} \cdot p_w) \cdot \delta, \quad (3.20)$$

где  $p_w$  – нормативное значение ветрового давления (МПа), представляющего сумму средней и пульсационной составляющих и определяемое по п. 11.1.2 СП 20.13330.2016 «Свод правил «СНиП 2.01.07-85\* Нагрузки и воздействия».

Рассчитаем кольцевое напряжение в  $i$  – ом поясе стенки по формуле (3.20):

$$\sigma_{2i} = (1,2 \cdot 0,95 \cdot 0,00025 + 0,5 \cdot 0,9 \cdot 0,00048) \cdot 1900 = 0,95 \text{ (МПа)}.$$

Проверим условие устойчивости для всех поясов стенки резервуара, т.е. выполнение неравенства (3.14):

Для 1-го пояса:

$$\frac{2,16}{7,3} + \frac{0,95}{2,35} \leq 1 \text{ (МПа)};$$

$$0,70 \leq 1 \text{ (МПа)}.$$

Для 2-го пояса:

$$\frac{2,41}{9,6} + \frac{0,95}{2,35} \leq 1 \text{ (МПа)};$$

$$0,66 \leq 1 \text{ (МПа)}.$$

Для 3-го пояса:

$$\frac{2,52}{9,6} + \frac{0,95}{2,35} \leq 1 \text{ (МПа)};$$

$$0,67 \leq 1 \text{ (МПа)}.$$

Для 4-го пояса:

$$\frac{2,66}{9,6} + \frac{0,95}{2,35} \leq 1 \text{ (МПа)};$$

$$0,68 \leq 1 \text{ (МПа)}.$$

Для 5-го пояса:

$$\frac{2,54}{9,6} + \frac{0,95}{2,35} \leq 1 \text{ (МПа)};$$

$$0,67 \leq 1 \text{ (МПа)}.$$

Для 6-го пояса:

$$\frac{2,42}{9,6} + \frac{0,95}{2,35} \leq 1 \text{ (МПа)};$$

$$0,66 \leq 1 \text{ (МПа)}.$$

Для 7-го пояса:

$$\frac{2,30}{9,6} + \frac{0,95}{2,35} \leq 1 \text{ (МПа)};$$

$$0,64 \leq 1 \text{ (МПа)}.$$

Для 8-го пояса:

$$\frac{2,18}{9,6} + \frac{0,95}{2,35} \leq 1 \text{ (МПа)};$$

$$0,63 \leq 1 \text{ (МПа)}.$$

Условие устойчивости для всех поясов стенки выполняется. Толщины поясов стенки резервуара корректировке не требуются. Установка колец жесткости не требуется.

### 3.6 Расчет на жесткость

Относительная окружная деформация для цилиндрической оболочки вычисляется по закону Гука:

$$\varepsilon_1 = \frac{1}{E} (\sigma_{2k} - \mu \sigma_1) \quad (3.21)$$

где  $\sigma_{2k}$  – кольцевое напряжение;

$\sigma_1$  – меридиональное напряжение;

$E$  – модуль упругости.

$\mu = 0,3$  – коэффициент Пуассона.

Но с другой стороны относительная окружная деформация:

$$\varepsilon_1 = \frac{\Delta l}{l} = \frac{2\pi R - 2\pi(R-w)}{2\pi R} = \frac{w}{R} \quad (3.22)$$

Приравняв выражения (3.21) и (3.22), найдем радиальное перемещение:

$$w = \frac{R}{E} \cdot (\sigma_{2k} - \mu\sigma_1) \quad (3.23)$$

где  $R$  – радиус оболочки, м;

$E$  – модуль упругости, МПа;

$\sigma_{2k}$  – кольцевое напряжение, МПа;

$\sigma_1$  – меридиональное напряжение, МПа.

По формуле (3.23) проведем расчет стенок на жесткость и определим окружные деформации:

Для 1-го пояса:

$$w_1 = \frac{17,1}{2,1 \cdot 10^{11}} \cdot (154,64 - 0,3 \cdot 2,54) \cdot 10^6 = 0,0125 \text{ (м)}$$

Аналогично вычисляем окружные деформации для остальных поясов и занесем их результаты в таблицу 3.8:

Таблица 3.8 – Радиальные перемещения нижних точек поясов резервуара

№ пояса	$w_i$ , мм
1	12,53
2	13,25
3	12,62
4	11,82
5	9,26
6	6,70
7	4,10
8	1,60

## 4. Расчет на ЭВМ

Для расчета на ЭВМ в программном продукте ANSYS была сконструирована аппроксимационная модель РВС-10000 (рисунок 11).

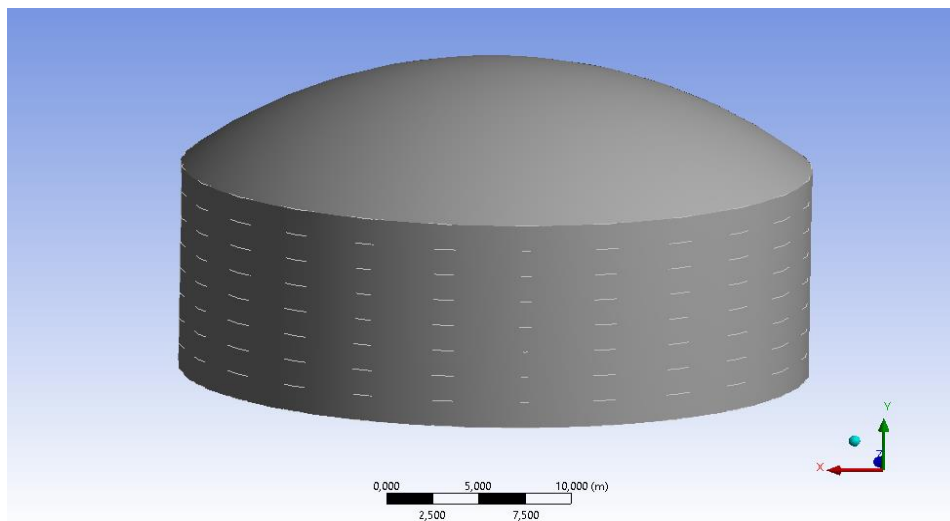


Рисунок 11 – Модель резервуара

Расчеты были произведены в двух различных климатических условиях:

- а) зимой при температуре  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  с учетом снеговой нагрузки на крышу резервуара;
- б) летом при температуре  $+37\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

### 4.1 Расчет при эксплуатации зимний период

На рисунке 13 представлена расчетная модель конструкции резервуара с предложенным давлением на крышу РВС. Число элементов сетки 65774, число узлов 197268 (рис. 12).

Details of "Mesh"	
[-] Defaults	
Physics P...	Mechanical
<input type="checkbox"/> Relev...	100
[+] Sizing	
[+] Inflation	
[-] Patch Conforming Options	
Triangle ...	Program Controlled
[-] Patch Independent Options	
Topology...	Yes
[+] Advanced	
[+] Defeaturing	
[-] Statistics	
<input type="checkbox"/> Nodes	197268
<input type="checkbox"/> Eleme...	65774
Mesh Me...	None

Рисунок 12 – Количество узлов и элементов

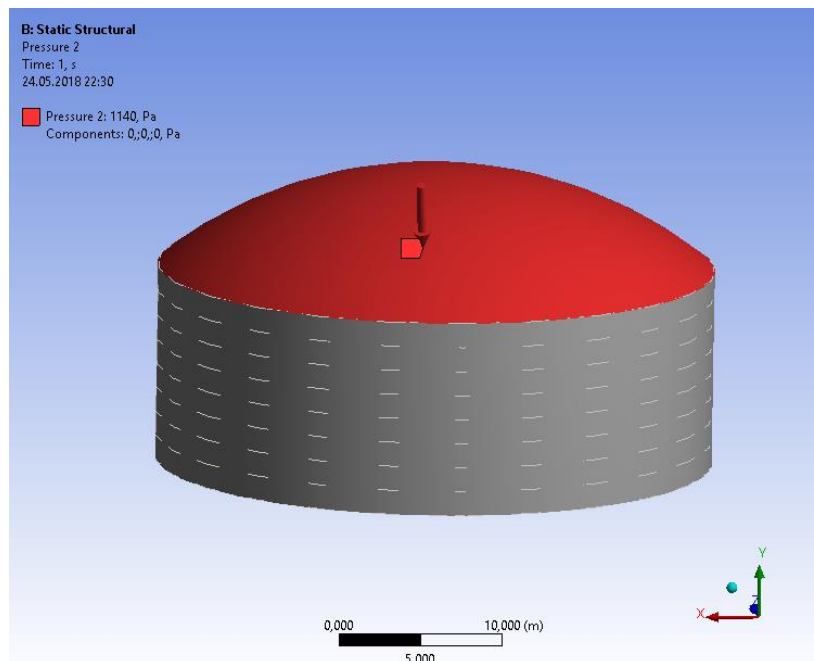


Рисунок 13 – Модель резервуара с приложенным на нее давлением от снега

На рисунке 14 представлена распределение гидростатического давления на стенки резервуара при наливке светлых нефтепродуктов до уровня 11,2 метра. Так же учитывались вес конструкции, для этого была задана гравитация, и внутренние избыточное давление.

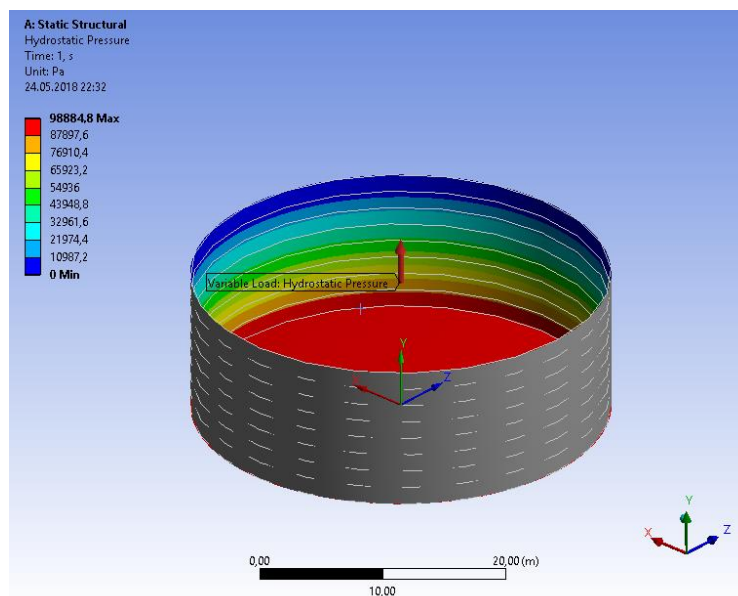


Рисунок 14 – Распределение давление нефтепродуктов на стенки резервуара

В результате расчета на рисунках 15 и 16 представлены эквивалентные



напряжения. Максимальные напряжения равны 129,87 МПа и находятся на во втором листе, а также переходят на первый и третий лист.

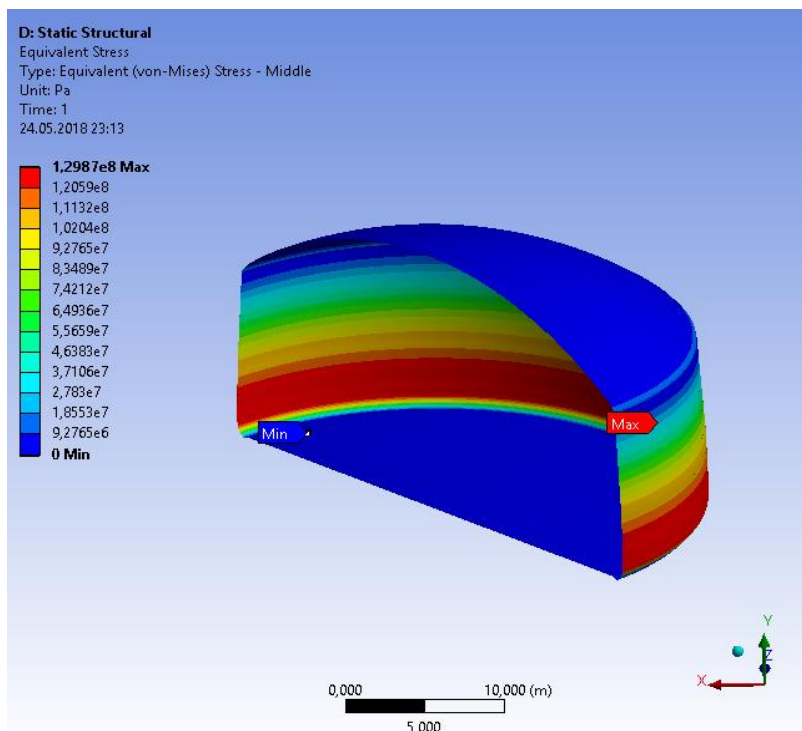


Рисунок 15 – Эквивалентные напряжения в материале при эксплуатации в зимний период (в разрезе)

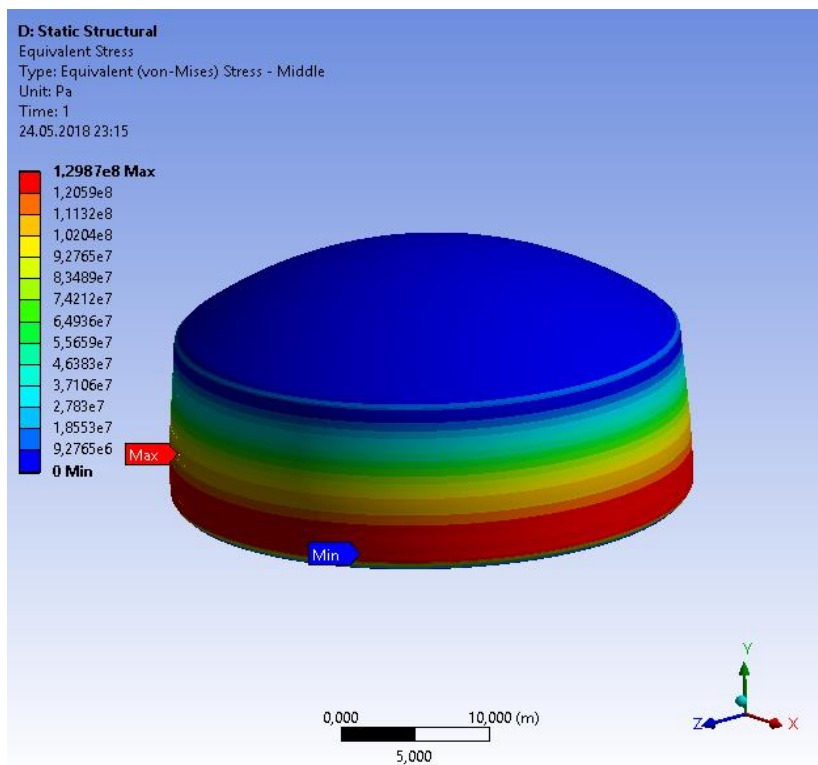


Рисунок 16 – Эквивалентные напряжения в материале при эксплуатации в зимний период

На рисунке 17 показано распределение деформаций конструкции, максимальные деформации появляются на первом, втором, третьем листах. Значение деформации приблизительно 11,7 мм

На днище конструкции деформации равны нулю, т.к. днище модели жестко закреплено.

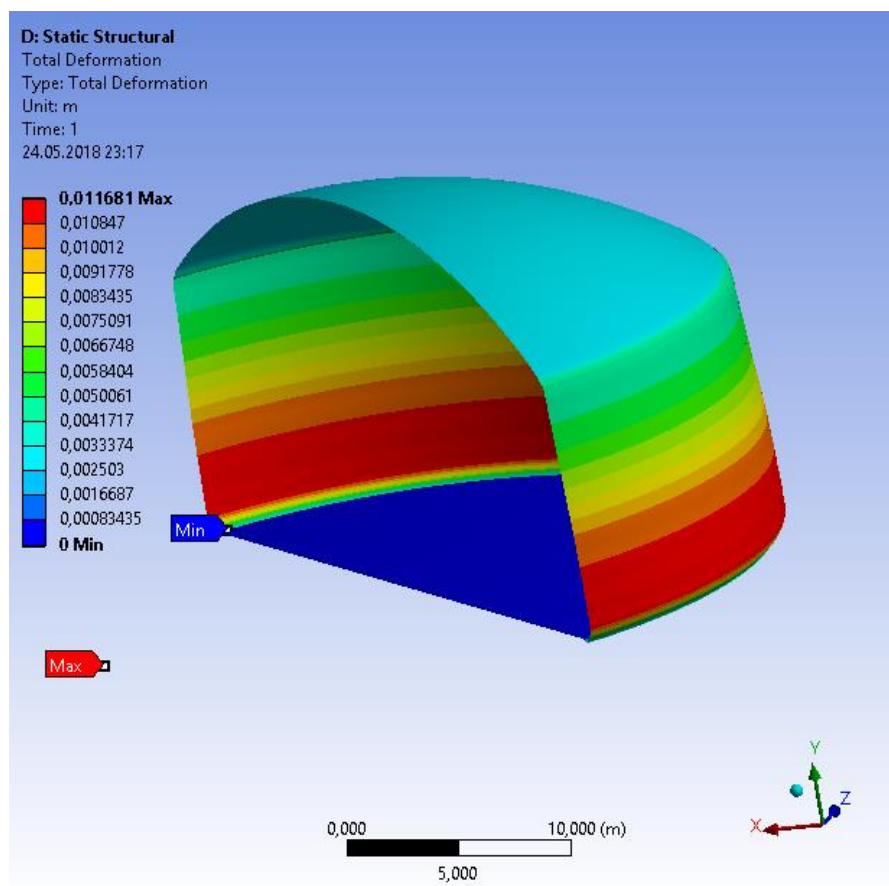


Рисунок 17 – Полная деформация резервуара

#### 4.2 Расчет при эксплуатации летний период

При расчете модели в летний период использовалась та же модель резервуара, с тем же количеством узлов и элементов.

На рисунках 18 и 19 показаны эквивалентные напряжения. Максимальные напряжения действуют на расстоянии 700 мм от упорного шва.

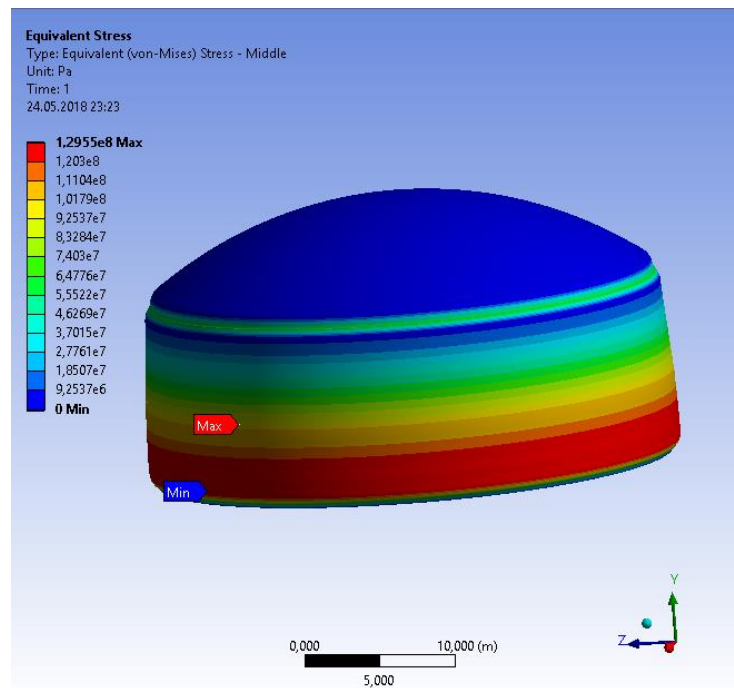


Рисунок 18 – Эквивалентные напряжения в материале при эксплуатации в летний период

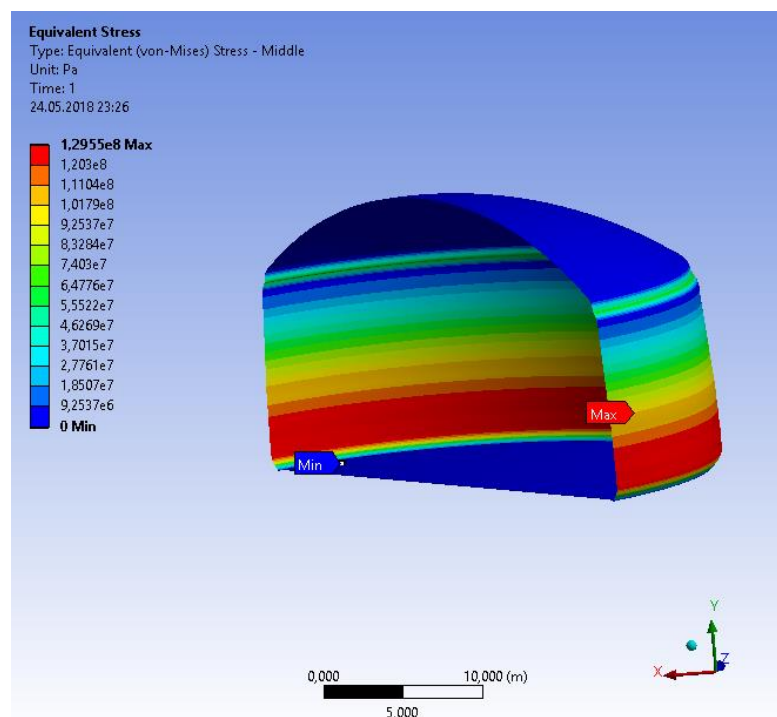


Рисунок 19 – Эквивалентные напряжения (в разрезе)

На рисунке 20 показана полная деформация. Максимальная деформации наблюдается в первом, втором и третьем поясах резервуара и равна 11,3 мм.

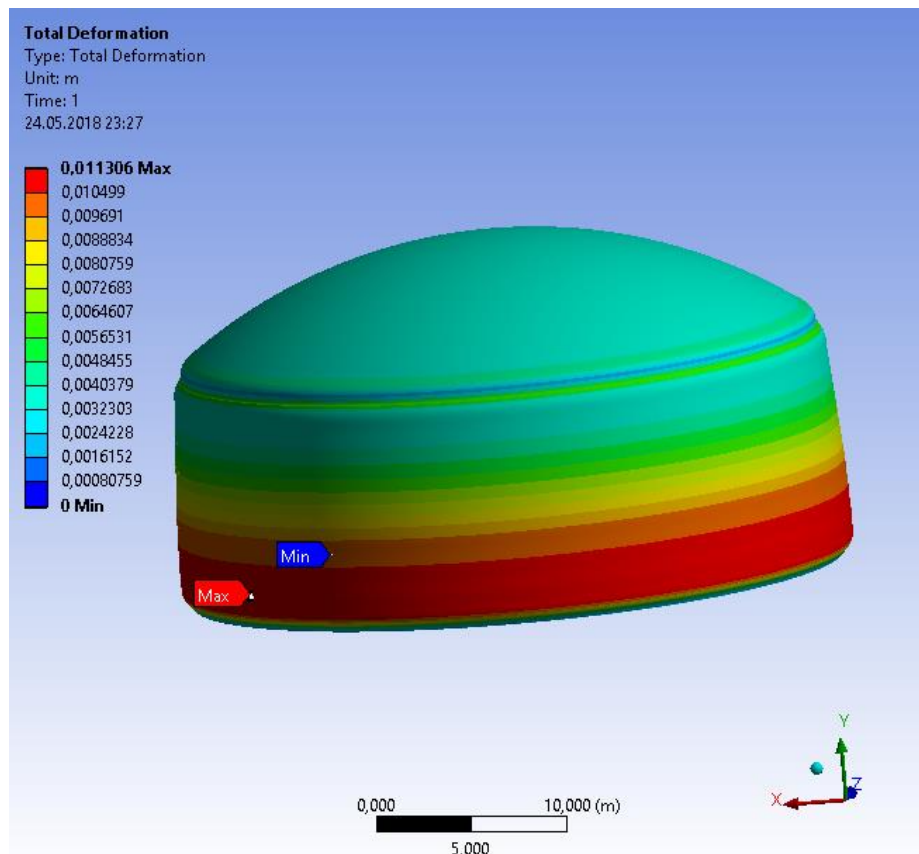


Рисунок 20 – Полная деформация

## **5. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение**

### **Введение**

В настоящее время, более 70% эксплуатирующего оборудования в России выработало свой ресурс (срок эксплуатации 30-35 лет). 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. В системе трубопроводного транспорта, например, более 3000 РВС находятся в эксплуатации более 50 лет, свыше 1000 РВС - от 40 до 50 лет. Экономически выгодная эксплуатация резервуара не может быть обеспечена без должного наблюдения за техническим состоянием и своевременным устранением неполадок. Нарушение прочности и герметичности в резервуарах в большинстве случаев вызывается совокупностью различных неблагоприятных воздействий на конструкции. Элементы резервуара в эксплуатационных условиях испытывают значительные быстроменяющиеся температурные режимы, повышение давления, вакуум, вибрацию, неравномерные осадки и коррозию. 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.

## 5.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Продукт: Резервуар вертикальный стальной 10000 м<sup>3</sup>

Целевой рынок: нефтяные и газовые компании.

Таблица 5.1 – Карта сегментирования рынка услуг по разработке интернет-ресурсов

		Вид исследования пускового устройства		
		Расчет РВС	3D модель и анализ работы РВС	Конструирование РВС
Размер компании	Крупные			
	Средние			
	Мелкие			

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

В различных исследованиях резервуар вертикальный 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.

3D модель имеет не мало важную роль для конструирования РВС, так как при создании трехмерной модели, в специальных программах, типа SolidWorks, Ansys, можно смоделировать отклонение от вертикали и посмотреть, как он будет вести себя в рабочем режиме, где будут максимальные нагрузки. На основе расчетов и трехмерной модели ведется конструирование, учитываются все просчеты.

## 5.2 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 5.2 – 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>
<b>Технические критерии оценки ресурсоэффективности</b>							
1. Срок службы	0,13	3	2	2	0,39	0,26	0,26
2. Ремонтопригодность	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
<b>Экономические критерии оценки эффективности</b>							
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 вертикальный стальной;

$B_{к1}$  – Резервуар вертикальный стальной с понтоном;

$B_6$  – Резервуар вертикальный стальной с плавающей крышей.

По таблице 5.2 видно, что наиболее эффективно использовать резервуар вертикальный стальной, так же он является наиболее конкурентоспособным к другому виду, так как обладает рядом преимуществ, например, удобство в эксплуатации, а также минимальное количество подвижных частей, что обеспечивает долговечность работы резервуара.

$$K1 = \frac{B_{\phi}}{B_{к1}} = \frac{43}{33} = 1,3. \quad (5.1)$$

### 5.3 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.

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.

Результаты первого этапа SWOT-анализа:

1. Сильные стороны проекта:

- простота конструкций;
- нулевые отклонения от вертикали;
- использование 3D моделирования;
- квалифицированный персонал.

2. Слабые стороны проекта:

- дороговизна вспомогательного оборудования;



- невозможность проверки технических характеристик на лабораторных стендах;

- внутренние производственные проблемы.

### 3. Возможности проекта:

- сотрудничество с изготовителями резервуаров вертикальных стальных;

- использование инновационной инфраструктуры ТПУ;

- повышение стоимости конкурентных разработок.

### 4. Угрозы проекта:

- отсутствие спроса на новые производства;

- снижение бюджета на разработку;

- высокая конкуренция в данной отрасли.

После того как сформулированы четыре области SWOT переходим к реализации второго этапа. Второй этап состоит в выявлении соответствия сильных и слабых сторон научно-исследовательского проекта внешним условиям окружающей среды. Это соответствие или несоответствие должны помочь выявить степень необходимости проведения стратегических изменений. Интерактивная матрица проекта представлена в таблицах 5.3-5.6. Таблица 5.3 – Интерактивная матрица возможностей и сильных сторон проекта

Сильные стороны проекта					
Возможности проекта		C1	C2	C3	C4
	B1	+	+	-	0
	B2	-	-	+	-
	B3	-	0	-	0

При анализе данной интерактивной таблицы можно выделить следующие сильно коррелирующие возможности и сильные стороны проекта: B1C1C2, B2C3.

Таблица 5.4 – 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 5.5 – 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 5.6 – 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 слабые стороны проекта: У1Сл1.

В рамках третьего этапа составляем итоговую матрицу SWOT-анализа (таблица 5.7).

Таблица 5.7 – Матрица SWOT

	<b>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</b>	<b>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</b>
	<p>С1. Высокая экономичность и энергоэффективность технологии</p> <p>С2. Экономичность технологии</p> <p>С3. Повышение безопасности производства</p> <p>С4. Уменьшение затрат на ремонт оборудования</p> <p>С5. Качественное обслуживание потребителей</p>	<p>Сл1. Трудность внедрения функции</p> <p>Сл2. Отсутствие на предприятии собственного специалиста, способного произвести внедрение функции</p> <p>Сл3. Снижение бюджета на разработку</p>
<p><b>Возможности:</b></p> <p>В1. Повышение эффективности работы предприятия за счет модернизации</p> <p>В2. Развитие технологий в данной отрасли</p> <p>В3. Использование инновационной инфраструктуры ТПУ</p>	<p>– Достижение повышения производительности агрегатов</p> <p>– Исключение поломок оборудования в результате сбоев в электроснабжении</p> <p>– Своевременная поставка нефти и природного газа потребителям</p>	<p>1. Поиск заинтересованных лиц</p> <p>2. Разработка научного исследования</p> <p>3. Принятие на работу квалифицированного специалиста</p> <p>4. Переподготовка имеющихся специалистов</p>
<p><b>Угрозы:</b></p> <p>У1: Отсутствие спроса на новые производства</p> <p>У2: Долгий срок</p>	<p>1. Отсутствие спроса на новые технологии производства.</p> <p>2. Доработка проекта</p>	<p>1. Приобретение необходимого оборудования опытного испытания</p> <p>2. Остановка проекта.</p>

доставки оборудования УЗ: Высокая конкуренция отрасли.	3. Сложность реализации проекта.	3. Проведения других проектов
---	----------------------------------	-------------------------------

## 5.4 Планирование научно-исследовательских работ

### Структура работ в рамках научного исследования

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 5.8.

Таблица 5.8 – 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

Трудовые затраты в большинстве случаев образуют основную часть стоимости разработки, поэтому важным моментом является определение трудоемкости работ каждого из участников научного исследования.

Трудоемкость выполнения научного исследования оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, т.к. зависит от множества трудно учитываемых факторов. Для определения, ожидаемого (среднего) значения трудоемкости  $t_{ожі}$  используется следующая формула:

$$t_{ожі} = \frac{2t_{\min i} + 2t_{\max i}}{5}, \quad (5.2)$$

где  $t_{ожі}$  – ожидаемая трудоемкость выполнения  $i$ -ой работы чел.-дн.;

$t_{\min i}$  – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной  $i$ -ой работы (оптимистическая оценка: в предположении наиболее благоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.;

$t_{\max i}$  – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной  $i$ -ой работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях  $T_{pi}$ , учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями. Такое вычисление необходимо для обоснованного расчета заработной платы, так как удельный вес зарплаты в общей сметной стоимости научных исследований составляет около 65 %.

$$T_{pi} = \frac{t_{ожi}}{Ч_i}, \quad (5.3)$$

где  $T_{pi}$  – продолжительность одной работы, раб. дн.;

$t_{ожi}$  – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн.;

$Ч_i$  – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

### **Разработка графика проведения научного исследования**

Наиболее удобным и наглядным является построение ленточного графика проведения научных работ в форме диаграммы Ганта.

Диаграмма Ганта – горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ. Для удобства построения графика, длительность каждого из этапов работ из рабочих дней следует перевести в календарные дни. Для этого необходимо воспользоваться следующей формулой:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot K_{\text{кал}}, \quad (5.4)$$

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

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

$K_{\text{кал}}$  – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}}, \quad (5.5)$$

где  $T_{\text{кал}}=365$  – количество календарных дней в году;

$T_{\text{вых}}=66$  – количество выходных дней в году;

$T_{\text{пр}}=15$  – количество праздничных дней в году.

$$k_{\text{кал}} = \frac{365}{365 - 66 - 15} = 1,28.$$

Рассчитанные значения в календарных днях по каждой работе  $T_{ki}$  округляем до целого числа.

Все рассчитанные значения сведены в таблице 5.9.

Таблица 5.9 – 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	$t_{\text{ож}}$ , 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

На основе таблицы 5.9 строим план график, представленный в таблице 5.10.

Таблица 5.10 – Календарный план график проведения НИР по теме

№	Вид работ	Исполнители	Т <sub>кi</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 тех. задания	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

## Бюджет научно-технического исследования

Материальные затраты включают затраты на изготовление опытного образца. Все необходимое спецоборудование и затраты на его приобретение представлены в таблице 5.11.

Таблица 5.11 – Смета затрат на реализацию проекта

Оборудование	Количество, шт.	Цена за шт., руб.	Стоимость комплекта, руб.
Клапан дыхательный КДС- 3000/500	4	81191,00	324764,00
Клапан предохранительный КДС-3000/500	8	37485,00	299880,00
Предохранитель огневой ОП- 500	4	38326,00	153304,00
Люк-лаз Ду-600 с поворотно- подвесным устройством	2	26400,00	52800,00
Итого: 830748,00			

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

Затраты на покупку компьютера:

$$Z = d_k + d_{no} = 25000 + 3000 = 28000 \text{ (руб)}, \quad (5.6)$$

где  $d_k$  – стоимость компьютера;

$d_{no}$  – стоимость программного обеспечения.

Установка специальных программ для исследования и моделирования объекта производится бесплатно.

## Основная заработная плата исполнителей темы

В данную статью включается основная заработная плата научных и инженерно-технических работников, а также рабочих опытных производств, непосредственно участвующих в выполнении работ по данной теме. Величина расходов по заработной плате определяется на основе трудоемкости выполняемых работ и действующей системы тарифных ставок и окладов. В состав основной заработной платы включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы в размере 20 – 30 % от тарифа или оклада.

Таблица 5.12 – Расчет основной заработной платы

№	Наименование этапов	Исполнители по категориям	Трудоем- кость, 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	Исполнитель	1 2	1 2	1 2	0,23	2,76	2,76	2,76

	материалов по теме								
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:							27,11	32,21	31,05

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

$$Z_n = Z_{осн} + Z_{доп}, \quad (5.7)$$

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

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

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

$$Z_{осн} = T_p \cdot Z_{дн}, \quad (5.8)$$

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:

$$Z_{дн} = \frac{Z_M \cdot M}{F_{\partial}} = \frac{74256 \cdot 10,4}{185} = 4174 \text{ (руб)}, \quad (5.9)$$

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  $M = 10,4$  месяца, 6-дневная неделя;

$F_{\partial}$  – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн.

Таблица 5.13 – 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:

$$Z_M = Z_{ТС} \cdot (1 + k_{np} + k_{\partial}) \cdot k_p = 33600 \cdot (1 + 0,3 + 0,4) \cdot 1,3 = 74256 \text{ (руб)}, \quad (5.10)$$

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

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

$k_d$  – коэффициент доплат и надбавок составляет примерно 0,2 - 0,5;

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

За основу оклада берется ставка работника ТПУ, согласно занимаемой должности. Из таблицы окладов для доцента (степень – кандидат наук) – 33600 руб., для ассистента (степень отсутствует) – 14584 руб.

Таблица 5.14 – Расчет основной заработной платы для исполнения 1

Исполнители	$Z_{тс}$ , тыс. руб.	$k_{пр}$	$k_d$	$k_p$	$Z_m$ , тыс. руб.	$Z_{дн}$ , тыс. руб.	$T_p$ , раб. дн.	$Z_{осн}$ , тыс. руб.
Руководитель	33600	0,3	0,4	1,3	74256	4,174	20	83,48
Исполнитель	14584	0	0	1,3	18959	1,126	37	41,66
Итого:								125,14

Таблица 5.15 – Расчет основной заработной платы для исполнения 2

Исполнители	$Z_{тс}$ , тыс. руб.	$k_{пр}$	$k_d$	$k_p$	$Z_m$ , тыс. руб.	$Z_{дн}$ , тыс. руб.	$T_p$ , раб. дн.	$Z_{осн}$ , тыс. руб.
Руководитель	33600	0,3	0,4	1,3	74256	4,174	24	100,18
Исполнитель	14584	0	0	1,3	18959	1,126	43	48,41
Итого:								148,59

Таблица 5.16 – Расчет основной заработной платы для исполнения 3

Исполнители	$Z_{тс}$ , тыс. руб.	$k_{пр}$	$k_d$	$k_p$	$Z_m$ , тыс. руб.	$Z_{дн}$ , тыс. руб.	$T_p$ , раб. дн.	$Z_{осн}$ , тыс. руб.
Руководитель	33600	0,3	0,4	1,3	74256	4,174	28	116,88
Исполнитель	14584	0	0	1,3	18959	1,126	49	55,17
Итого:								172,05

## **Дополнительная заработная плата исполнителей темы**

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:

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн}, \quad (5.11)$$

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

Для исполнения 1 расчет дополнительной заработной платы составит:

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн} = 0,13 \cdot 83480 = 10852 \text{ (руб);}$$

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

Для исполнения 2 расчет дополнительной заработной платы составит:

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн} = 0,13 \cdot 100180 = 13023 \text{ (руб);}$$

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

Для исполнения 3 расчет дополнительной заработной платы составит:

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн} = 0,13 \cdot 116880 = 15194 \text{ (руб);}$$

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

## **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:

$$Z_{внеб} = k_{внеб} \cdot (Z_{осн} + Z_{дон}) = 0,302 \cdot (83480 + 10852) = 28488 \text{ (руб)}, \quad (5.12)$$

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 статьи 58 закона №212-ФЗ для учреждений, осуществляющих образовательную и научную деятельность, в 2014 году водится пониженная ставка – 30,2%.

Таблица 5.17 – Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата, тыс. руб			Дополнительная заработная плата, тыс. руб		
	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3
Руководитель	83,480	100,180	116,880	10,852	13,023	15,194
Исполнитель проекта	41,660	48,410	55,170	5,416	6,293	7,172
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	0,302					
Итого:						
Исполнение 1	Исполнение 2		Исполнение 3			
42,705	50,707		58,713			



## Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов. Их величина определяется по следующей формуле:

$$Z_{\text{накл}} = \left( \text{сумма предыдущих статей} \right) \cdot k_{\text{нр}}, \quad (5.13)$$

где  $k_{\text{нр}}$  – коэффициент, учитывающий накладные расходы.

Величину коэффициента накладных расходов можно взять в размере 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 5.18 – Расчет бюджета затрат НИИ

Наименование статьи	Сумма, руб. (исп. 1)	Сумма, руб. (исп. 2)	Сумма, руб. (исп. 3)	Примечание
1. Материальные затраты	2872108	3272108	3222108	
2. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	125140	148590	172050	
3. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	16268	19316	22366	

4. Отчисления во внебюджетные фонды	42705	50707	58713	
5. Затраты на покупку компьютера	28000	28000	28000	
6. Накладные расходы	493475	562995	560518	
7. Бюджет затрат НИИ	3577696	4081716	4063755	Сумма ст. 1-6

### 5.5 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:

$$I_{финр}^{испi} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{max}}, \quad (5.14)$$

где  $I_{финр}^{испi}$  – интегральный финансовый показатель разработки;

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

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

Для 1-ого варианта исполнения имеем:

$$I_{финр}^{исп1} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{max}} = \frac{3060750}{3485812} = 0,878.$$

Для 2-ого варианта имеем:

$$I_{финр}^{исп2} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{max}} = \frac{3485812}{3485812} = 1.$$

Для 3-ого варианта имеем:

$$I_{финр}^{исп3} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{max}} = \frac{3460875}{3485812} = 0,993.$$

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

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

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i, \quad (5.15)$$

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

$a_i$ – весовой коэффициент разработки;

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

Таблица 5.19 – 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:

$$I_{p-исп1} = 0,1 \cdot 5 + 0,15 \cdot 4 + 0,15 \cdot 5 + 0,2 \cdot 5 + 0,25 \cdot 4 + 0,15 \cdot 5 = 4,6;$$

$$I_{p-исп2} = 0,1 \cdot 4 + 0,15 \cdot 3 + 0,15 \cdot 3 + 0,2 \cdot 3 + 0,25 \cdot 4 + 0,15 \cdot 4 = 3,05;$$

$$I_{p-исп3} = 0,1 \cdot 4 + 0,15 \cdot 4 + 0,15 \cdot 3 + 0,2 \cdot 5 + 0,25 \cdot 4 + 0,15 \cdot 3 = 3,9.$$

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

$$I_{исп.i} = \frac{I_{p-исп.i}}{I_{финр.i}}, \quad (5.16)$$

соответственно,

$$I_{исп.1} = \frac{I_{p-исп1}}{I_{финр.1}} = \frac{4,6}{0,878} = 5,24;$$

$$I_{исп.2} = \frac{I_{p-исп2}}{I_{финр.2}} = \frac{3,05}{1} = 3,05;$$

$$I_{исп.3} = \frac{I_{p-исп3}}{I_{финр.3}} = \frac{3,9}{0,993} = 3,93.$$

Сравнение интегрального показателя эффективности вариантов исполнения разработки позволит определить сравнительную эффективность

проекта и выбрать наиболее целесообразный вариант из предложенных. Сравнительная эффективность проекта ( $\mathcal{E}_{cpi}$ ):

$$\mathcal{E}_{cpi} = \frac{I_{испi}}{I_{исп\ min}}, \quad (5.17)$$

соответственно,  $\mathcal{E}_{cp1} = 1,72$ ;  $\mathcal{E}_{cp2} = 1$ ;  $\mathcal{E}_{cp3} = 1,29$ .

Таблица 5.20 – 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, вышперечисленные технико-экономические показатели проекта, позволяют сделать вывод о том, что данная конструкция резервуара экономически выгодна.

## **6. Социальная ответственность**

Выпускная квалификационная работа посвящена исследованию резервуара вертикального цилиндрического стального резервуара объемом 10000 м<sup>3</sup>. В данном разделе 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.

### **6.1 Опасные и вредные производственные факторы**

Обслуживание резервуара является работой повышенной опасности, при эксплуатации которой возможны опасные и вредные производственные факторы. К опасным производственным факторам на объекте относятся факторы, которые могут привести к травме, а к вредным – факторы, которые могут привести к заболеванию. Опасные и вредные факторы (ОВПФ) делятся на физические, химические, биологические и психофизиологические. Объекты нефтепроводного транспорта, как носители опасных и вредных факторов, относятся к категории повышенной опасности.

### **6.2 Анализ выявленных вредных факторов производственной среды**

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

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 (а также в районах, приравненных к районам крайнего Севера) используется понятие предельной жесткости погоды (эквивалентная температура, численно равная

сумме отрицательной температуре воздуха в градусах Цельсия и удвоенной скорости ветра в м/с), устанавливаемая для каждого района решением местных региональных органов управления.

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

При эквивалентной температуре наружного воздуха ниже -25 °С работающим на открытом воздухе или в закрытых необогреваемых помещениях, а также грузчикам, занятым на погрузочно-разгрузочных работах, и другим работникам, ежедневно должен быть обеспечен обогрев в помещении, где необходимо поддерживать температуру около +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. При работах, связанных с ограниченностью движения, следует применять спецодежду и спецобувь со специальными видами обогрева.

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

В рабочих зонах помещения и площадки обслуживания температура воздуха различна в теплый и холодный периоды года.

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 100 Вт/м<sup>2</sup> при облучении менее 25%. Максимальная температура при этом 28°С (301 К).

Для поддержания микроклимата предусматриваются приточная и вытяжная вентиляции, нагреватели и кондиционеры.

Профилактика перегревания работников осуществляется организацией рационального режима труда и отдыха путем сокращения рабочего времени для введения перерывов для отдыха, использования средств индивидуальной защиты.

### *Превышение уровней шума.*

Допустимый уровень шума составляет 80 дБА. Запрещается даже кратковременное пребывание в зоне с уровнями звукового давления, превышающими 135 дБА.

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.

### *Превышение уровней вибрации*

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; вывод работников из мест с превышением ДУ по вибрации).

#### *Недостаточная освещенность рабочей зоны*

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

#### *Повышенная запыленность и загазованность рабочей зоны*

Контроль воздушной среды должен проводиться в зоне дыхания при характерных производственных условиях посредством газоанализатора или рудничной лампы. Содержание вредных веществ в воздухе рабочей зоны не должно превышать предельно допустимых концентраций (ПДК). Предельно допустимая концентрация пыли, как вещества умеренно опасного, в воздухе рабочей зоны составляет 1,1-10 мг/м<sup>3</sup>, для природного газа ПДК 300 мг/м<sup>3</sup>.

При работе в местах, где концентрация вредных веществ в воздухе может превышать ПДК, работников должны обеспечивать соответствующими противогазами.

При работе с вредными веществами 1-, 2-, 3-го классов опасности (ртуть, одорант, сероводород, метанол, диэтиленгликоль и т.д.) должно быть обеспечено регулярное обезвреживание и дезодорирование СИЗ.

Уменьшение неблагоприятного воздействия запыленности и загазованности воздуха достигается за счет регулярной вентиляции рабочей зоны.

Работающие в условиях пылеобразования должны быть в противопыльных респираторах («Лепесток», Ф-62Ш, У-2К, «Астра-2», РП-

КМ и др.), защитных очках и комбинезонах. При загазованности траншеи или котлована в результате утечки газа необходимо прекратить работу и вывести людей, запретив курить, зажигать спички или пользоваться открытым огнем.

### **6.3 Анализ опасных производственных факторов и обоснование мероприятий по их устранению**

Опасными производственными факторами называются факторы, способные при определенных условиях вызывать острое нарушение здоровья и гибели человека.

#### *Оборудование и трубопроводы, работающие под давлением*

При несоблюдении правил безопасности при изготовлении, монтаже и эксплуатации оборудование, работающее под высоким давлением, обладает повышенной опасностью.

Причинами разрушения или разгерметизации систем повышенного давления могут быть: внешние механические воздействия, старение систем (снижение механической прочности); нарушение технологического режима; конструкторские ошибки; изменение состояния герметизируемой среды; неисправности в контрольно-измерительных, регулирующих и предохранительных устройствах; ошибки обслуживающего персонала и т. д.

Правила устройства и безопасной эксплуатации оборудования, работающего под давлением, распространяются:

- работающие под давлением пара или газа свыше 0,07 МПа;
- на баллоны, предназначенные для транспортирования и хранения сжатых, сжиженных и растворенных газов под давлением свыше 0,07 МПа;
- на цистерны и бочки для транспортирования и хранения сжиженных газов, давление паров которых при температуре до 50 °С превышает давление 0,07 МПа;
- на цистерны и сосуды для транспортирования или хранения сжатых, сжиженных газов, жидкостей и сыпучих тел, в которых давление выше 0,07 МПа создается периодически.

Основным требованием к конструкции оборудования работающего под высоким давлением является надежность обеспечения безопасности при и возможности осмотра и ремонта. Специальные требования предъявляются к сварным швам. Они должны быть доступны для контроля при изготовлении, монтаже и эксплуатации, располагаться вне опор сосудов. Сварные швы делаются только стыковыми.

Ответственность за исправное состояние и безопасную эксплуатацию сосудов должна быть возложена на специалиста, которому подчинен персонал, обслуживающий сосуды.

#### *Пожаровзрывобезопасность на рабочем месте*

При обеспечении пожарной безопасности ремонтных работ следует руководствоваться 09-364-00 «Типовая инструкция по организации безопасного проведения огневых работ на взрывоопасных взрывопожароопасных объектах»; и другими утвержденными в установленном порядке региональными СНиП, НД, регламентирующими требования пожарной безопасности.

Места проведения ремонтных работ должны быть обеспечены первичными средствами пожаротушения:

- асбестовое полотно размеров 2х2 м – 2 шт.;
- огнетушители порошковые ОП-10 – 10 шт., или углекислотные ОУ-10 – 10 штук или один огнетушитель ОП-100 (ОП-50 2 шт.);
- лопаты – 2 шт.;
- ведра – 2 шт.;
- топор, лом – по 1 шт.

Все работники должны допускаться к работе только после прохождения противопожарного инструктажа, а при изменении специфики работы проходить дополнительное обучение по предупреждению и тушению возможных пожаров в порядке, установленном руководителем.

Вся передвижная техника в охранной зоне МГ должна быть обеспечена искрогасителями заводского изготовления.

Самоходная техника, сварочные агрегаты, компрессоры, задействованные в производстве подготовительных и огневых работ, должны быть обеспечены не менее чем двумя огнетушителями ОУ-10, ОП-10 (каждая единица техники).

В помещениях на видных местах должны быть вывешены таблички с указанием порядка вызова пожарной охраны.

Приказом должен быть установлен соответствующий противопожарный режим, в том числе:

- определены места и допустимое количество одновременно находящихся в помещениях материалов;
- установлен порядок уборки горючих отходов, хранения промасленной спецодежды;
- определен порядок обесточивания электрооборудования в случае пожара и окончании рабочего дня;
- регламентированы: порядок проведения временных огневых и других пожароопасных работ, порядок осмотра и закрытия помещений после окончания работы, действия работников при обнаружении пожара;
- определен порядок и сроки прохождения противопожарного инструктажа и занятий по пожарно-техническому минимуму, а также назначены ответственные за их проведение.

Руководитель работ по ремонту газопровода должен совместно с работниками пожарной охраны определить места установки противопожарного оборудования и обеспечить необходимым противопожарным инвентарем.

Горючие отходы, мусор и т.д. следует собирать на специально выделенных площадках в контейнеры или ящики, а затем вывозить.

Применение в процессах производства материалов и веществ с неустановленными показателями их пожаро-взрывоопасности или не имеющих сертификатов, а также их хранение совместно с другими материалами и веществами не допускается.

Объект необходимо обеспечить прямой связью с ближайшим подразделением пожарной охраны или оператором КС.

При работе категорически запрещается курить на рабочем месте. На рабочих местах должны быть вывешены предупредительные надписи: “Не курить”, “Огнеопасно”, “Взрывоопасно”.

В случае возникновения пожара использовать пенные, порошковые, углекислотные огнетушители или приспособления для распыления воды.

#### **6.4 Экологическая безопасность**

При технической эксплуатации резервуара типа РВС 10000 м<sup>3</sup> необходимо соблюдать требования по защите окружающей среды, условия землепользования, установленные законодательством по охране природы.

Перед началом производства работ следует выполнить следующие работы:

- оформить в природоохранных органах все разрешения, согласования и лицензии, необходимые для производства работ по данному объекту;
- заключить договора со специализированными организациями на сдачу отходов, грунта, сточных вод, образующихся в процессе производства работ;
- оборудовать места временного размещения отходов в соответствии с нормативными требованиями.

При организации ремонта необходимо осуществлять мероприятия и работы по охране окружающей среды, которые должны включать предотвращение потерь природных ресурсов, предотвращение попадания загрязняющих веществ в почву, водоемы и атмосферу.

*Виды воздействий на природную среду в период эксплуатации резервуара:*

- Загрязнение выбросами выхлопных газов от строительной техники при производстве работ;
- Выбросы при опорожнении и заполнении резервуаров;
- Образование и размещение отходов, образующихся при технологической эксплуатации.

Перед началом работ необходимо обеспечить наличие отвода земельного участка. С целью уменьшения воздействия на окружающую среду все работы должны выполняться в пределах полосы отвода земли.

Для снижения воздействия на поверхность земель предусмотрены следующие мероприятия:

- минимально необходимые размеры котлована;
- своевременная уборка мусора и отходов для исключения загрязнения территории отходами производства;
- запрещение использования неисправных, пожароопасных транспортных и строительно-монтажных средств;
- применение строительных материалов, имеющих сертификат качества;
- выполнение работ, связанных с повышенной пожароопасностью, специалистами соответствующей квалификации.

Загрязнение атмосферного воздуха в период эксплуатации за счет неорганизованных выбросов и является кратковременным. К загрязняющим веществам относятся продукты неполного сгорания топлива в двигателях строительных машин и механизмов, вещества, выделяющиеся при сварке труб, выполнении изоляционных работ.

*Мероприятия, направленные на защиту атмосферного воздуха в зоне производства работ:*

- осуществлять периодический контроль за содержанием загрязняющих веществ в выхлопных газах;
- для уменьшения выбросов от автотранспорта необходимо в период ремонтных работ обеспечить контроль топливной системы механизмов и системы регулировки подачи топлива, обеспечивающих полное его сгорание;
- допускать к эксплуатации машины и механизмы в исправном состоянии, особенно тщательно следить за состоянием технических средств, способных вызывать загорание естественной растительности.

Загрязнение атмосферы в период производства работ носит временный обратимый характер.

Производственные и бытовые стоки, образующиеся на строительной площадке, должны очищаться и обезвреживаться в порядке, предусмотренном проектом организации строительства и проектами производства работ.

Сельскохозяйственные и лесные угодья должны быть возвращены в состояние, пригодное для использования по назначению и сданы землепользователю.

## **6.5 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.

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



## **Заключение**

В данной работе были решены задачи определения прочности, жесткости и устойчивости стального резервуара.

На основе исходных данных основных параметров вертикального стального резервуара РВС-10000 были рассчитаны толщины поясов стенки резервуара, проведен подбор номинальной толщины поясов стенки. В результате расчета на прочность установлено, что оценки, полученные аналитическим путем, и оценки, полученные с помощью программного комплекса ANSYS:

во-первых, практически совпадают (в пределах 4,5%);

во-вторых, найденные эквивалентные напряжения, не превышают предела прочности;

в-третьих, проверка поясов стенки на устойчивость показала, что условие устойчивости соблюдается.

## Список использованной литературы

1. ГОСТ 31385-2016 Резервуары вертикальные цилиндрические стальные для нефти и нефтепродуктов. Общие технические условия.
2. СТО-СА-03-002-2009 Правила проектирования, изготовления и монтажа вертикальных цилиндрических стальных резервуаров для нефти и нефтепродуктов.
3. СП 16.13330.2017 «Стальные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-23-81\*».
4. СП 20.13330.2016 Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85\*.
5. ВСН 311-89 Монтаж вертикальных стальных цилиндрических резервуаров для хранения нефти и нефтепродуктов объемом от 100 до 50000 куб. м.
6. СТО-СА-03-002-2009 Правила проектирования, изготовления и монтажа вертикальных цилиндрических стальных резервуаров для нефти и нефтепродуктов.
7. ГОСТ 17032-2010 Резервуары стальные горизонтальные для нефтепродуктов. Технические условия.
8. РД 16.01-60.30.00-КТН-026-1-04 «Нормы проектирования стальных вертикальных резервуаров для хранения нефти объемом 1000-50000 м<sup>3</sup>».
9. Руководство по безопасности вертикальных цилиндрических стальных резервуаров для нефти и нефтепродуктов.
10. Лапшин, А. А. Конструирование и расчёт вертикальных цилиндрических резервуаров низкого давления: учебное пособие / А. А. Лапшин, А. И. Колесов, М. А. Агеева; Нижегород. гос. архит.-строит. ун-т. – Н. Новгород, ННГАСУ, 2009. – 122 с.
11. ГОСТ 12.1.003-14 ССБТ Шум. Общие требования.
12. ГОСТ 12.1.029-80 ССБТ Средства и методы защиты от шума. Общие требования.

- 13.ГОСТ 12.1.012-2004 ССБТ Вибрационная безопасность. Общие требования.
- 14.ГОСТ 12.2.062-81 ССБТ Оборудование производственное. Ограждения защитные.
- 15.ГОСТ 17.1.3.13-86 Охрана природы. Гидросфера. Общие технические требования к охране поверхностных вод от загрязнений.
- 16.ГОСТ 12.1.004-91 ССБТ Пожарная безопасность. Общие технические требования.
- 17.ГОСТ 17.1.3.06-83 Охрана природы. Гидросфера. Общие технические требования к охране подземных вод.
- 18.Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение: учебно-методическое пособие / И.Г. Видяев, Г.Н. Серикова, Н.А. Гаврикова, Н.В. Шаповалова, Л.Р. Тухватулина З.В. Криницына; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. – 36 с.
- 19.Безопасность жизнедеятельности. Безопасность технологических процессов и производств. Охрана труда: учебное пособие для вузов / П.П. Кукин [и др.]. – 5-е изд., стер. – Москва: Высшая школа, 2009. – 335 с.: ил. – Для высших учебных заведений. – Безопасность жизнедеятельности – Библиогр.: с. 333.
- 20.СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03 Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и иных объектов.
- 21.ГН 2.2.5.2308 – 07 Ориентировочно безопасный уровень воздействия (ОБУВ) вредных веществ в воздухе рабочей зоны.
- 22.РМГ 78-2005 ГСИ Излучения ионизирующие и их измерения.
- 23.Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила безопасности в нефтяной и газовой промышленности».
- 24.Правила по охране труда при хранении, транспортировании и реализации нефтепродуктов. – М.: Закрытое акционерное общество

- «Научно-технический центр исследований проблем промышленной безопасности», 2016. – 72 с.
25. Забродин Ю.Н., Коликов В.Л., Саруханов А.М. Управление нефтегазостроительными проектами: современные концепции, эффективные методы и международный опыт / Ю.Н. забродин, В.Л. Коликов, А.М. Саруханов. – М.: ЗАО Издательство «Экономика», 2004. – 406 с.
26. Герчикова И.Н. Менеджмент: Учебник для вузов. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: ЮНИТИ, 2006. – 511 с.
27. ГОСТ 12.0.002-2014 «Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Термины и определения».
28. Коршак А.А., Шаммазов А.М. Основы нефтегазового дела: Учебник для вузов. – 3-е изд., испр. и доп. – Уфа.: ООО «ДизайнПолиграфСервис», 2005. – 528 с.: ил.
29. Оценка напряженно-деформированного состояния стального цилиндрического резервуара с учетом эксплуатационных нагрузок. [Электронный ресурс]. - [http://ogbus.ru/authors/MansurovaSM/MansurovaSM\\_1.pdf](http://ogbus.ru/authors/MansurovaSM/MansurovaSM_1.pdf).
30. Светашков А.А. Элементы теории упругости: учебное пособие / А.А. Светашков; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. – 164 с.
31. Оболочки. [Электронный ресурс]. <http://www.soprotmat.ru/lectuprugost5.htm>.
32. Самогин Ю.Н., Хроматов В.Е., Чирков В.П. Метод конечных элементов в задачах сопротивления материалов / Под ред. В.П. Чиркова. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2012. – 200 с. – ISBN 978-5-9221-1380-9.
33. ГОСТ 19281-2014 Прокат повышенной прочности. Общие технические условия

- 34.РД 09-364-00 «Типовая инструкция по организации безопасного проведения огневых работ на взрывоопасных, взрывопожароопасных объектах».
- 35.Сооружение и эксплуатация газонефтепроводов и газонефтехранилищ. Составители: Крец В.Г., Шадрина А.В., Антропова Н.А. Учебное пособие.- Томск: Изд. ТПУ, 2012. – 386 с.