

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
 федеральное государственное автономное  
 образовательное учреждение высшего образования  
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Инженерная школа природных ресурсов (ИШПР)  
 Направление подготовки 21.04.01 «Нефтегазовое дело»  
 Профиль «Машины и оборудование нефтегазовых промыслов»  
 Отделение школы (НОЦ) нефтегазовое дело

### МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
<b>Анализ напряженно-деформированного состояния и оценка усталостной долговечности резервуара</b>

УДК 621.642.3:624.042.62

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2БМ05	Винокуров Михаил Алексеевич		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОНД	Зиякаев Г.Р.	К.Т.Н.		

Консультант

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Павлов М.С.			

### КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОНД	Шарф И.В.	Д.Э.Н		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ООД	Сечин А.А.	К.Т.Н.		

### ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

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

## РЕЗУЛЬТАТЫ ОСВОЕНИЯ ООП

Код компетенции	Наименование компетенции
Универсальные компетенции	
УК-1	Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действий
УК-2	Способен управлять проектом на всех этапах его жизненного цикла
УК-3	Способен организовывать и руководить работой команды, вырабатывая командную стратегию для достижения поставленной цели
УК-4	Способен применять современные коммуникативные технологии, в том числе на иностранном(ых) языке(ах), для академического и профессионального взаимодействия
УК-5	Способен анализировать и учитывать разнообразие культур в процессе межкультурного взаимодействия
УК-6	Способен определять и реализовывать приоритеты собственной деятельности и способы ее совершенствования на основе самооценки
Общепрофессиональные компетенции	
ОПК-1	Способен решать производственные и (или) исследовательские задачи на основе фундаментальных знаний в нефтегазовой области
ОПК-2	Способен осуществлять проектирование объектов нефтегазового производства
ОПК-3	Способен разрабатывать научно-техническую, проектную и служебную документацию, оформлять научно-технические отчеты, обзоры, публикации, рецензии
ОПК-4	Способен находить и перерабатывать информацию, требуемую для принятия решений в научных исследованиях и в практической технической деятельности
ОПК-5	Способен оценивать результаты научно-технических разработок, научных исследований и обосновывать собственный выбор, систематизируя и обобщая достижения в нефтегазовой отрасли и смежных областях
ОПК-6	Способен участвовать в реализации основных и дополнительных профессиональных образовательных программ, используя специальные научные и профессиональные знания
Профессиональные компетенции	
ПК(У)-1	Способность оценивать эффективность инновационных решений и анализировать возможные технологические риски их реализации.
ПК(У) -2	Способность анализировать и обобщать данные о работе технологического оборудования, осуществлять контроль и техническое сопровождение.
ПК(У)-3	Способность обеспечивать безопасную и эффективную эксплуатацию и работу технологического оборудования нефтегазовой отрасли.
ПК(У)-4	Знание современных САД-САЕ-систем, их функциональные возможности для проектирования геометрических моделей изделий высокой сложности.

<b>Код компетенции</b>	<b>Наименование компетенции</b>
ПК(У)-5	Способность применять полученные знания для разработки и реализации проектов, различных процессов производственной деятельности на основе методики проектирования в нефтегазовой отрасли, а также инструктивно-нормативных документов.
ПК(У)-6	Способность к разработке учебно-методических материалов для первичной и периодической подготовки и аттестации специалистов в области обеспечения работы технологического оборудования
ПК(У)-7	Способность реализовывать программы профессионального обучения: планировать и проводить учебные занятия, оценивать достижение планируемых результатов для первичной и периодической подготовки и аттестации специалистов в области обеспечения работы технологического оборудования

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
 федеральное государственное автономное  
 образовательное учреждение высшего образования  
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа: Инженерная школа природных ресурсов  
 Направление подготовки (специальность): 21.04.01 Нефтегазовое дело  
 Отделение школы (НОЦ): Отделение нефтегазового дела

УТВЕРЖДАЮ:  
 Руководитель ООП

\_\_\_\_\_  
 (Подпись)     (Дата)     (Ф.И.О.)

**ЗАДАНИЕ**  
**на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

Магистерской диссертации
--------------------------

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

Студенту:

Группа	ФИО
2БМ05	Винокуров Михаил Алексеевич

Тема работы:

Анализ напряженно-деформированного состояния и оценка усталостной долговечности резервуара	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	№ 126-16/с от 06.05.2022

Срок сдачи студентом выполненной работы:	23.06.2022
--	------------

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<b>Исходные данные к работе</b>	Объектом исследования в данной диссертации является РВС объемом 10000 м <sup>3</sup> ; диаметр 34,2 м; высота стенки резервуара 12 м; количество поясов 8; сталь 09Г2С; плотность нефти при 20°С 870 кг/м <sup>3</sup> ; годовая оборачиваемость резервуара 350; высота разлива нефти 11 м. Эксплуатация резервуара не должна приводить к загрязнению окружающей среды.
---------------------------------	--

<b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Анализ нормативной и научно-технической литературы для определения наиболее применяемых методик по анализу усталостной долговечности стальных резервуаров;</li> <li>2. Построение параметрической конечно-элементной модели РВС с учетом отклонений от геометрии;</li> <li>3. Проведение анализа напряженно-деформированного состояния стенки резервуара;</li> <li>4. Определение влияния отклонений геометрии стенки на остаточный ресурс;</li> <li>5. Формирование рекомендаций по учету фактической геометрии стенки при анализе его усталостной долговечности;</li> <li>6. Сделать выводы о проделанной работе</li> </ol>
<b>Перечень графического материала</b>	Рисунки, схемы, таблицы

**Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы**

Раздел	Консультант
«Литературный обзор»	Павлов М.С., старший преподаватель
«Объект исследования»	Павлов М.С., старший преподаватель
«Расчетная часть»	Павлов М.С., старший преподаватель
«Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	Шарф И.В., профессор ОНД, д.э.н
«Социальная ответственность»	Сечин А.А., доцент ООД, к.т.н
Часть на иностранном языке	Матвеев И.А., профессор ОИЯ, д.ф.н

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

Литературный обзор
Расчетная часть

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

**Задание выдал руководитель / консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОНД	Зиякаев Г.Р.	К.Т.Н.		
Старший преподаватель	Павлов М.С.			

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2БМ05	Винокуров Михаил Алексеевич		

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
 федеральное государственное автономное  
 образовательное учреждение высшего образования  
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа: Инженерная школа природных ресурсов  
 Направление подготовки (специальность): 21.04.01 Нефтегазовое дело  
 Уровень образования: Магистратура  
 Отделение школы (НОЦ): Отделение нефтегазового дела  
 Период выполнения: \_\_\_\_\_ (осенний / весенний семестр 2021 /2022 учебного года)

Форма представления работы:

Магистерская диссертация

(бакалаврская работа, дипломный проект/работа, магистерская диссертация)

### КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:	23.06.2022
--	------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
16.02.2022	Проведение анализа нормативной и научно-технической литературы	25
15.03.2022	Введение	10
25.04.2022	Построение модели	25
30.05.2022	Расчет и проведение исследования	25
05.06.2022	Устранение недочетов	15

#### СОСТАВИЛ:

##### Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОНД	Зиякаев Г.Р.	к.т.н.		

##### Консультант

Старший преподаватель	Павлов М.С.			
-----------------------	-------------	--	--	--

#### СОГЛАСОВАНО:

##### Руководитель ООП

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

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

Студенту:

Группа	ФИО
2БМ05	Винокуров Михаил Алексеевич

Школа	Инженерная школа природных ресурсов	Отделение (НОЦ)	Отделение нефтегазового дела
Уровень образования	Магистратура	Направление/ специальность	21.04.01. Нефтегазовое дело/ «Машины и оборудование нефтяных и газовых промыслов»

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Оценка стоимости материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих ресурсов на проведение анализа напряженно-деформированного состояния резервуара вертикального стального объемом 10000 м <sup>3</sup>
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	Единые нормы времени и расценки на техническое диагностирование оборудования, сооружений и трубопроводов Методика определения стоимости проведения экспертизы промышленной безопасности зданий, сооружений и технических устройств
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Налоговый кодекс Российской Федерации ФЗ №67 от 24.07.2009 в ред. от 28.05.2022

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

1. Обоснование внедрения данной технологии с экономической точки зрения	Проведение анализа напряженно-деформированного состояния резервуара с целью повышения срока эксплуатации вместо замены всего резервуара
2. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности	Расчет и сравнительный анализ двух способов подсчета стоимости работ по оценке технического состояния резервуара с учетом инновационных решений

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

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОНД	Шарф И.В.	д.э.н, доцент		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2БМ05	Винокуров Михаил Алексеевич		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА  
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

Группа	ФИО
2БМ05	Винокуров Михаил Алексеевич

Школа	Инженерная школа природных ресурсов	Отделение (НОЦ)	Отделение нефтегазового дела
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	21.04.01. Нефтегазовое дело/ «Машины и оборудование нефтяных и газовых промыслов»

Тема ВКР:

<b>Анализ напряженно-деформированного состояния и оценка усталостной долговечности резервуара</b>	
<b>Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:</b>	
1. Характеристика объекта исследования	Объект исследования: задвижки, промысловые трубопроводы, резервуарный парк. Область применения: Подготовка, перекачка, отстой, хранение нефти.
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
<b>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</b> – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.	Специальные правовые нормы трудового законодательства: 1. ТК РФ: глава 50 «Особенности регулирования труда лиц, работающих в районах крайнего севера и приравненных к ним местностям» 2. ТК РФ: глава 47 «Особенности регулирования труда лиц, работающих вахтовым методом» Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны: 1. СП 366.1325800.2017 Промысловые трубопроводы 2. ГОСТ 12.2.003-91 ССБТ «Оборудование производственное. Общие требования безопасности» 3. ГОСТ 12.1.038-81 ССБТ «Электробезопасность»
<b>2. Производственная безопасность:</b> 2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия	<u>Анализ выявленных вредных факторов:</u> <u>климатические условия:</u> 1. Климатические условия; 2. Повышенный уровень шума; 3. Повышенный уровень вибрации. <u>Анализ выявленных опасных факторов:</u> 1. Механические опасности; 2. Поражение электрическим током; 3. Взрывоопасность и пожароопасность.

<b>3. Экологическая безопасность:</b>	<p>Атмосфера: постоянные и залповые выбросы загрязняющих веществ.</p> <p>Гидросфера: загрязнение поверхностных вод.</p> <p>Литосфера: деградация почв.</p>
<b>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</b>	<p>Возможные ЧС:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• аварии в результате разгерметизации оборудования, нефтесборных трубопроводов, выкидных линий;</li> <li>• аварии в результате выхода из строя автоматизированного оборудования, в связи с повреждением кабеля линии электропередач;</li> <li>• аварии в результате ошибки персонала.</li> </ul> <p>Наиболее типичная ЧС техногенного характера на объекте - розлив нефтепродуктов.</p>

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

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ООД	Сечин А.А.	К.Т.Н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2БМ05	Винокуров Михаил Алексеевич		

## Реферат

Выпускная квалификационная работа содержит 95 с., 21 рис., 19табл., 38 литературных источников, 1 приложение.

Ключевые слова: резервуар вертикальный стальной, техническая диагностика, напряженно-деформированное состояние, усталостная долговечность, метод конечных элементов.

Цель работы – повышение качества технической диагностики резервуаров путем учета результатов инструментального контроля геометрических отклонений при расчетном анализе остаточного ресурса резервуара.

В процессе исследования рассмотрены методы определения остаточного ресурса резервуара при техническом диагностировании. Выявлены минусы определения остаточного ресурса аналитическим методом. Предложен метод выявления влияния отклонений стенок резервуара от вертикали на остаточный ресурс резервуара с помощью метода конечных элементов.

В результате исследования была разработана параметрическая конечно-элементная модель РВС с учетом измеренных отклонений геометрии от вертикали.

Основные объем резервуара – 10000 м<sup>3</sup>; диаметр резервуара 34,2 м; высота – 12 м; количество поясов стенки – 8 шт; толщина 1 пояса стенки 10 мм; толщина 2-8 поясов стенки – 8 мм; марка стали – 09Г2С; плотность нефти – 870 °С; высота взлива нефти – 10 м; годовая оборачиваемость резервуара 350 1/год.

Область применения: нефтегазовая промышленность.

Экономическая эффективность/значимость работы: предложенный метод построения резервуара с отклонениями стенок от вертикали, значения которых получены с помощью инструментального контроля, позволяет не задействовать такие дорогие методы построения резервуара как лазерное сканирование

## **Определения, обозначения, сокращения, нормативно-техническая документация**

Обозначения и сокращения:

**РВС** – Резервуар вертикальный стальной.

**МКЭ** – метод конечных элементов.

**ПК** – программный комплекс.

**ВИК** – визуально измерительный контроль.

**СНиП** – строительные нормы и правила.

**СЛАУ** – система линейный алгебраических уравнений.

**НДС** – напряженно-деформированное состояние.

**ЧС** – чрезвычайная ситуация.

**ПРП** – приемо-раздаточный патрубок.

**ПЛА** – план ликвидации аварии.

**ППР** – планово-предупредительный ремонт.

**РД** – руководящий документ.

В настоящей работе использованы ссылки на следующие стандарты:

РД 153–112–017–97 Инструкция по диагностике и оценке остаточного ресурса вертикальных стальных резервуаров.

РД 08–95–95 Положение о системе технического диагностирования сварных вертикальных цилиндрических резервуаров для нефти и нефтепродуктов.

ГОСТ 31385-2008 Резервуары вертикальные цилиндрические стальные для нефти и нефтепродуктов. Общие технические условия.

ГОСТ 12.1.003-83 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Шум. Общие требования безопасности

ГОСТ 12.1.012-90 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Вибрационная безопасность.

ГОСТ 12.2.003-91 «ССБТ. Оборудование производственное. Общие требования безопасности».

ГОСТ 12.1.030-81 ССБТ «Электробезопасность».

ГОСТ 12.0.003-2015 Система стандартов безопасности труда (ССБТ).  
Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.

ГОСТ 12.1.019-2017 Система стандартов безопасности труда (ССБТ).  
Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.

МР 2.2.7.2129-06 «Режимы труда и отдыха работающих в холодное время  
на открытой территории или в неотапливаемых помещениях».

ГОСТ 12.4.011-89 ССБТ. «Средства защиты работающих. Общие  
требования и классификация».

СП 70.13330.2012 Несущие и ограждающие конструкции.

## Оглавление

Введение .....	17
1. Литературный обзор .....	19
1.1 Классификация и назначение резервуаров .....	19
1.2 Виды контроля технического состояния резервуаров.....	20
1.3 Периодичность обследования технического состояния.....	21
1.4 Типовые программы обследования технического состояния резервуаров	22
1.5 Анализ возникновения дефектов.....	24
1.6 Принцип работы резервуаров .....	25
1.7 Определения остаточного ресурса по требованиям актуальной нормативной документации. Ограничения методики.....	28
1.8 Метод конечных элементов .....	30
2. Объект исследования .....	32
2.1 Перевод значений отклонения стенок РВС в систему координат XYZ ....	34
3. Построение модели, расчет эквивалентных напряжений и оценка их влияния на усталостную долговечность.....	38
3.1 Создание геометрической модели РВС 10000 м <sup>3</sup> в ПК ANSYS, задание сил, действующих на резервуар. ....	38
3.2. Расчет эквивалентных напряжений РВС в результате воздействия гидростатического давления на РВС.....	42
3.2 Определение усталостной долговечности .....	44
4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение ..	45
4.1 Потенциальные потребители результатов исследования.....	45
4.2 Планирование работ .....	46
4.3 Бюджет научно-технического исследования .....	49
4.4 Страховые взносы в государственные внебюджетные фонды .....	52

4.5 Накладные расходы.....	53
4.6 Расчет работ для определения отклонений от вертикали стенок РВС .....	53
4.6.1 Первый способ расчета стоимости проведения экспертизы резервуара	54
4.6.2 Второй способ расчета стоимости работ при техническом диагностировании резервуара .....	54
4.7 Формирование бюджета затрат проекта .....	59
5. Социальная ответственность .....	60
5.1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности .....	60
5.2. Производственная безопасность .....	65
5.3. Экологическая безопасность .....	70
5.4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях .....	75
Заключение .....	77
Список литературы .....	78
Приложение А .....	82

## **Введение**

Резервуары вертикальные стальные являются сооружениями повышенного уровня ответственности и относятся к I-II классу опасности. Одними из наиболее опасных объектов были и остаются различные виды резервуаров для нефти и нефтепродуктов. Последствия возможных аварий резервуаров носят катастрофический характер, приводя к уничтожению объектов и тяжелым экологическим последствиям.

С целью не допустить возникновения аварии, проводится оценка технического состояния резервуара. Комплексная оценка технического состояния конструктивных элементов резервуара, опорных элементов и установленного на резервуаре оборудования, обеспечивающего его безопасную эксплуатацию, проводится при техническом диагностировании и экспертизе промышленной безопасности в соответствии с требованиями нормативной документации, утвержденной Федеральной службой по экологическому, технологическому и атомному надзору России.

В процессе экспертизы для оценки технического состояния, проводимую надзорными органами в соответствии с нормативными документами, проводятся поверочные прочностные расчеты с учетом обнаруженных дефектов и повреждений аналитическим методом, который учитывает значение отклонения геометрии по поясу как среднее значение отклонений в этом поясе стенки резервуара. Данный фактор может влиять на то, что аварийными могут признаваться резервуары, которые еще пригодны к эксплуатации

При этом анализ результатов технического диагностирования более 60 вертикальных стальных резервуаров в период 2009-2014 гг. показывает, что около 80% объектов имеют несоответствия существующим требованиям промышленной безопасности.

Для определения влияния отклонений стенок РВС от вертикали на усталостную долговечность в данной диссертации рассмотрен резервуар с локальными отклонениями, значения которых считаются критическими по существующим нормативным документам.

Целью данной магистерской диссертации является повышение качества технической диагностики резервуаров путем учета результатов инструментального контроля геометрических отклонений при расчетном анализе остаточного ресурса резервуара.

Для достижения данной цели были поставлены следующие задачи:

1. Провести анализ нормативной и научно-технической литературы для определения наиболее применяемых методик по анализу усталостной долговечности стальных резервуаров.
2. Построить параметрическую конечно-элементную модель РВС с учетом измеренных отклонений геометрии от вертикали,
3. Провести анализ напряженно-деформированного состояний стенки резервуара и определить влияние отклонений геометрии стенки на остаточный ресурс
4. Сформулировать рекомендации по учету фактической геометрии стенки резервуара при анализе его усталостной долговечности.

## 1. Литературный обзор

### 1.1 Классификация и назначение резервуаров

Резервуары вертикальные стальные выполняют функции хранения нефти, а также продукты, получаемые из него и воды. РВС делятся относительно его положения вертикально и горизонтально

Объем вертикальных цилиндрических резервуаров колеблется от 100 м<sup>3</sup> до 50000 м<sup>3</sup>. В зависимости от объема и места расположения вертикальные резервуары подразделяются на три класса:

В зависимости от объема хранимого продукта по ГОСТ 31385-2008 РВС по классу опасности бывают четырех видов [1]:

- класс I – РВС, имеющие объем больше 50000 м<sup>3</sup>;
- класс II – РВС, имеющие объем (включительно) от 20000 м<sup>3</sup> до 50000 м<sup>3</sup>, а также РВС объемом от 10000 м<sup>3</sup> до 50000 м<sup>3</sup> включительно, местоположение которых находится непосредственно на берегу реки, больших водоемов и рядом с городом;

- класс III - РВС, имеющие объем более 1000 м<sup>3</sup> и менее 20000 м<sup>3</sup>;
- класс IV - РВС, имеющие объем менее 1000 м<sup>3</sup>.

В зависимости от конструкции крыши РВС делятся на:

- резервуар со стационарной крышей без понтона;
- резервуар со стационарной крышей с понтоном;
- резервуар с плавающей крышей.

Монтаж конструкций резервуаров бывает с использованием следующих технологических методов:

- метода рулонирования;
- метода листовой сборки;
- комбинированного метода.

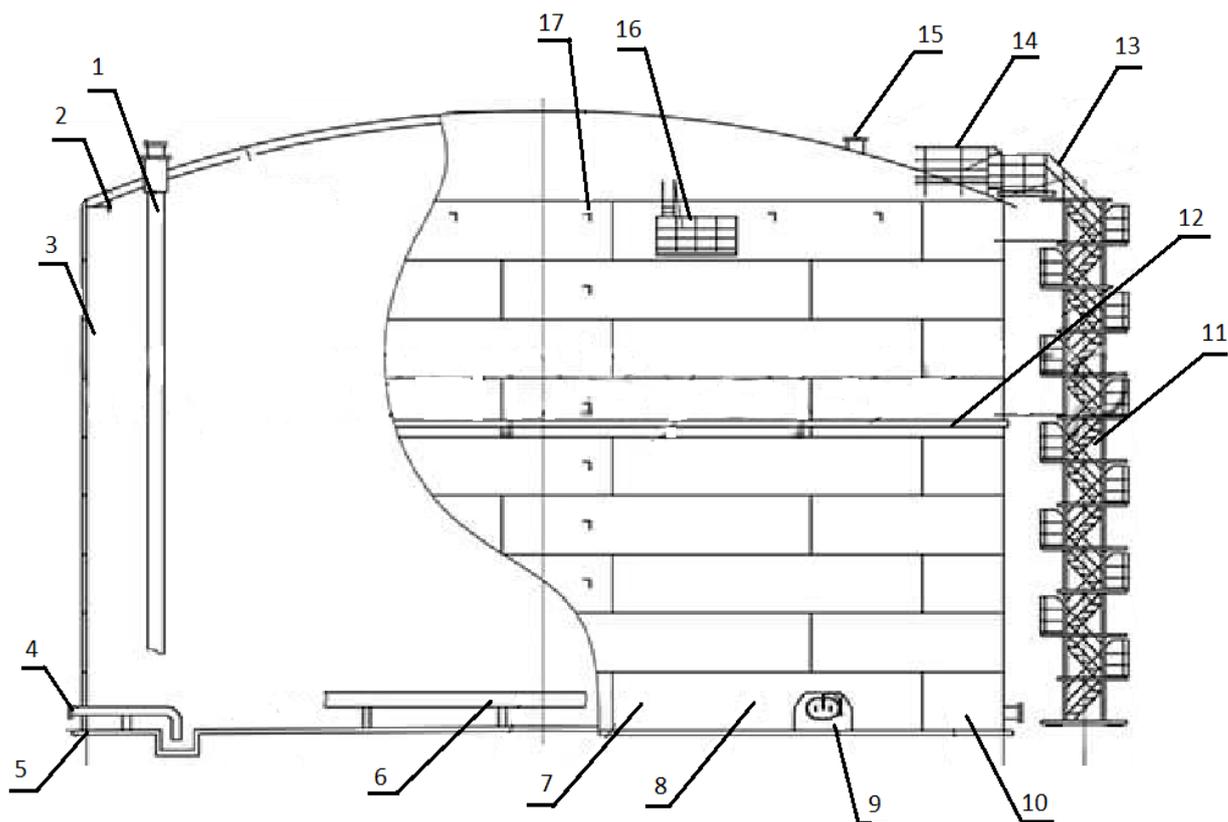


Рисунок 1 – Схема резервуара

1 - сниженные трубы; 2 – крыша; 3 - стенка; 4 - ЗУМПФ зачистки; 5 - днище; 6 - распределительный маточник; 7 - накладки для закладных металлоконструкций; 8 - закладные детали для крепления теплоизоляции и подогревателя; 9 - люки и патрубки в стенке; 10 - крепления и заземления; 11 - лестница шахтная; 12 - кольца жесткости; 13 - переход с ШЛ на крышу; 14 - площадка и ограждения на крышу; 15 - люки и патрубки в крыше; 16 - площадки обслуживания пеногенератора; 17 - кронштейны для кабельных конструкций и трубопроводов.

## 1.2 Виды контроля технического состояния резервуаров

В систему контроля технического состояния резервуаров входят следующие мероприятия:

- надзор во время эксплуатации (исполнитель - владелец резервуара);
- ревизии резервуара при текущем, среднем и капитальном ремонте;

- частичное обследование резервуара с наружной стороны без выведения из эксплуатации; полное обследование с наружной и внутренней стороны с выведением резервуара из эксплуатации, опорожнением, зачисткой и дегазацией;
- полное обследование проводится также перед вводом в эксплуатацию ранее не эксплуатируемых резервуаров или резервуаров после капитального ремонта.

Надзор во время эксплуатации и ревизии при текущем, среднем и капитальном ремонте осуществляется соответствующими службами предприятия, эксплуатирующего резервуар в соответствии с «Правилами технической эксплуатации резервуаров и инструкциями по их ремонту», технологическими регламентами предприятия, производственными инструкциями и другими нормативно-техническими документами, отражающими правила безопасного ведения работ по эксплуатации РВС.

По результатам обследования экспертная организация выдаёт «Заключение экспертизы промышленной безопасности резервуара», которое утверждается в установленном порядке и служит основанием для разрешения местным органом Ростехнадзора дальнейшей эксплуатации резервуара до очередного обследования [1].

### **1.3 Периодичность обследования технического состояния**

Срок проведения очередного обследования технического состояния назначается экспертной организацией по результатам проведённого текущего обследования с учетом расчётной оценки остаточного ресурса. Для резервуаров, находящихся в эксплуатации, непрерывный мониторинг технического состояния которых не проводится, независимо от их состояния и расчёта остаточного ресурса, а также для новых резервуаров, обследование которых ранее не проводилось, интервалы времени между обследованиями не могут превышать нормативных интервалов. Допускается по согласованию с местными органами Ростехнадзора увеличивать срок до проведения очередного обследования на 0,5

года с учетом специфики местных условий (например, для возможности проведения обследования в тёплое время года) и только в том случае, если увеличение срока не противоречит расчётным оценкам остаточного ресурса резервуара, или резервуар будет обследоваться впервые.

Первое частичное обследование для резервуаров всех классов опасности проводится не позднее, чем через три года после сдачи резервуара в эксплуатацию. Если нормативный срок службы попадает в интервал между двумя обследованиями, при назначении срока следующего обследования выбирается меньший из интервалов.

При невозможности освобождения резервуара от продукта очередное полное обследование может быть заменено частичным обследованием, включающим дополнительно, кроме видов контроля, указанных в п. 1.5.1, следующие операции:

- испытания резервуара на прочность продуктом с обязательным контролем методом акустической эмиссии;
- дополнительное сканирование толщины первого пояса стенки резервуара (или зоны раздела подтоварной воды и продукта хранения при нахождении ее выше низа первого пояса);
- дополнительный ультразвуковой контроль всех вертикальных сварных соединений первого пояса стенки резервуара на высоту 0,5 м.

#### **1.4 Типовые программы обследования технического состояния резервуаров**

Типовая программа частичного обследования резервуара предусматривает выполнение следующих работ:

- анализ технической документации на резервуар (паспорта резервуара, исполнительной документации на строительство резервуара, эксплуатационной документации);

- визуальный и измерительный контроль (ВИК) основного металла и сварных соединений элементов металлоконструкций резервуара с наружной стороны;
- нивелирование наружного контура днища, шахтной лестницы и газоуравнительной системы (при их наличии), верхней кромки наружного кольцевого листа плавающей крыши;
- измерение геометрической формы элементов резервуара: отклонений, образующих стенки от вертикали на уровне верха каждого пояса, местных отклонений от проектной формы стенки (вмятин, выпучин) и угловатости в зонах монтажных сварных соединений);
- измерение толщины поясов стенки, листов наружной части окраек днища, кровли (плавающей крыши), ПРП;
- выборочный контроль качества сварных соединений и основного металла элементов металлоконструкций резервуара физическими методами по результатам ВИК (при необходимости);
- измерение твердости основного металла и сварных соединений переносным твердомером;
- проверку состояния лестниц, площадок, переходов, ограждений - элементов, обеспечивающих безопасность работы персонала;
- проверку правильности размещения оборудования на стенке (относительно сварных соединений) и кровле (плавающей крыше) резервуара, наличия и размеров усиливающих накладок, состояния ПРП и стенки резервуара в местах их врезки;
- проверку состояния основания и отмостки;
- для резервуаров с плавающей крышей дополнительно проверка состояния элементов затвора, водоспуска, подвижной лестницы, измерение зазора между верхней кромкой наружного кольцевого листа и стенкой, направляющими и патрубками в плавающей крыше;

- поверочные расчёты несущей способности стенки и кровли резервуара;
- расчёт остаточного ресурса безопасной эксплуатации элементов резервуара (кроме днища и внутренних элементов - понтона, центральной стойки);
- анализ результатов обследования, составление заключения о техническом состоянии резервуара, о возможности, условиях и сроке дальнейшей эксплуатации резервуара до следующего обследования;
- составление ведомости дефектов.

### **1.5 Анализ возникновения дефектов**

Дефекты, возникающие в резервуарах, могут быть образованы как на стадии проката металла, при транспортировке, так при монтаже и эксплуатации. Основное количество дефектов все-таки связано с монтажом и эксплуатацией резервуара.

Больше всего возникновению дефекта подвержено днище резервуара – 50%, затем оболочка корпуса – 35% и стационарное покрытие 15%.

Человеческий фактор – несоблюдение требований при проектировании и изготовлении резервуара. Неправильно спроектированный фундамент и неправильно выбранное основание приводит к неравномерной осадке, выходящих за пределы расчетных норм, что в свою очередь влечет за собой череду последствий: трещины в корпусе и днище, выпучины, складки днища, деформация днища по периметру резервуара и нарушение геометрической формы резервуара, а иногда приводит к полному его разрушению.

Дефекты сварных швов тоже можно отнести к человеческому фактору. Непровары, прожоги (сквозные проплавления), наплывы, трещины, шлаковые включения, кратеры. Выполнить сварку, которая не имела бы дефектов, практически невозможно, но исключить халатность, не внимательность можно. Сварщики должны иметь квалификацию, соответствующую производству работ.

Дефекты в сварных швах:

- Трещины в окрайках днища;
- Трещины в нижнем упорном соединении и стыках полотнищ днища.
- Трещины в швах нижних поясов.

Коррозионные дефекты являются основным фактором, повреждающим резервуар. Интенсивность и характер коррозии зависит от коррозионной стойкости материалов, химического состава нефти, температуры.

Перепады температур влияют на образование трещин, как в стенках резервуара, так и в бетонном основании.

На изменение геометрии стенки оказывает гидростатическое давление хранимого продукта, ветровая и снеговая нагрузка, сейсмические явления, а также воздействие вакуума, возникающем, если дыхательная арматура резервуара неисправна или превышена допускаемая скорость слива нефтепродукта. В этих случаях образуются значительные напряжения в верхних поясах корпуса, что приводит к образованию вмятин и выпучин [2].

## **1.6 Принцип работы резервуаров**

Для резервуаров, используемых в нефтегазовой индустрии и исследуемый в данной работе, принцип работы следующий:

Нефть в резервуарах хранится под азотной подушкой с избыточным давлением с дальнейшим направлением паров на нагнетатель уловленных паров.

Контроль и регулирование давления в каждом резервуаре осуществляется системой автоматического регулирования, регулирующие клапаны которой установлены на линии подачи азота и клапаны установлены на линии сброса паров. Регулирующие клапаны, расположенные на линии подачи азота в резервуары настроены на открытие при давлении определенном, тем самым предотвращая возникновение разреженного давления при охлаждении или откачке содержимого из резервуара. Регулирующий клапан на линии сброса паров в систему улавливания паров настроен на открытие так, чтобы предотвратить превышение расчетного давления резервуара при заполнении резервуара или при температурном расширении содержимого резервуара.

Первоначально, пока система улавливания паров не включена в работу, давление в резервуарах поддерживается клапанами в автоматическом режиме с заданием на открытие подачи азота со сбросом избытка давления через дыхательные клапаны. Регулирующие клапаны позиций взаимоблокирующей отключающей арматурой так, что в работе может находиться только один из двух клапанов.

При или при повышении давления в резервуаре, срабатывает предупредительная сигнализация. В случае увеличения давления выше настроенной, срабатывает блокировка на закрытие клапана на входе нефти в резервуар и клапана на подачи азота. При снижении давления срабатывает блокировка на закрытие клапана выхода паров из резервуара к нагнетателю.

На крышах резервуаров предусмотрены по четыре дыхательных и четыре предохранительных клапана производительностью 3000 м<sup>3</sup>/ч каждый. Дыхательные клапаны настроены на давление впуска/выпуска газа минус 25/200 мм вод. ст. и оборудованы огнепреградителями. Огнепреградители, в целях исключения их обмерзания, устанавливаются только на теплый период года.

Предусмотрен внутренний обогрев резервуаров промежуточным теплоносителем, который подается в нагревательные змеевики. Резервуары не теплоизолированы.

Контроль и регулирование температуры в каждом резервуаре в пределах 20...45 °С осуществляется системой автоматического регулирования, регулирующей клапан которой установлен на линии выхода теплоносителя из змеевика резервуара. При снижении температуры до 20 °С или при повышении температуры до 45 °С срабатывает предупредительная сигнализация. При достижении предельно высокой температуры (46 °С) в резервуаре срабатывает на закрытие клапана подачи теплоносителя в змеевик. При достижении предельно низкой температуры (19°С) срабатывает аварийная сигнализация.

Сброс подтоварной воды предусмотрен из отдельного патрубка на прием насосов перекачки воды. Предусмотрена также зачистка резервуаров зачистными насосами.

Резервуары оборудованы мешалками для перемешивания нефти с целью поддержания постоянной температуры по всему объему резервуара и предотвращения накопления механических примесей.

Взрывозащищенные мешалки установлены на крышке люков-лазов, размещенных на первом поясе резервуаров с нефтью.

Устройства мешалок обеспечивают:

- размыв и перемешивание донных отложений в резервуаре подвижной струей нефти, формируемой пропеллером изделия;
- автоматическое изменение направления струи нефти в горизонтальной плоскости за счет встроенного привода поворота вала пропеллера;
- создание кругового вращения всей массы нефти, хранимой в резервуаре, при работе изделия в крайних угловых положениях вала пропеллера;
- запуск в работу и остановку от местного поста управления или дистанционно с центрального пульта оператора.

Принцип работы устройства заключается в образовании процесса перемешивания нефти направленной затопленной струей нефти, создаваемой вращающимся пропеллером, при котором тяжелые парафинистые осадки и механические примеси взвешиваются в общей массе нефти. Этот процесс достигается двумя факторами при работе изделий:

- за счет непосредственного перемешивания нефти струей, создаваемой пропеллером изделия;
- за счет создания кругового вращения всей массы хранимой нефти в резервуаре при работе пропеллера в крайних угловых положениях.

Встроенный автоматический привод поворота (АПП) обеспечивает в процессе работы изделия поворот корпуса с валом в горизонтальной плоскости на угол  $\pm 30^\circ$  относительно шарнирного узла, смонтированного на присоединительном фланце. Время прохождения вала с пропеллером от одного крайнего положения до другого составляет от 3,5 до 5 часов, в зависимости от

исполнения изделия. Отбор вращательного движения на входной вал АПП производится от вала, проходящего соосно через центр АПП.

После окончания процесса размыва и перемешивания в резервуаре нефть вместе с донными отложениями откачивается.

Резервуары оборудованы системой водяного орошения, системой пенотушения, люками-лазами, лестницами и обслуживающими площадками. Резервуары оснащены системой учета нефти, включающей в себя: радарный уровнемер, емкостной уровнемер раздела фаз нефть/пластовая вода, многоточечный датчик температуры и датчик гидростатического давления. Управление процессом налива и опорожнения резервуаров осуществляется приводными задвижками, расположенными с внешней стороны обвалования. Коренные задвижки, расположенные у резервуара, имеют ручное управление.

### **1.7 Определения остаточного ресурса по требованиям актуальной нормативной документации. Ограничения методики**

Для определения остаточного ресурса резервуара используются численный и аналитический методы

Аналитический подход к оценке остаточного ресурса заключается в обработке данных замеров толщины стенки резервуара и выявлении средней и максимальной величин коррозионного разрушения. Проще говоря, для определения остаточного ресурса используются следующие формулы в соответствии с РД 153–112–017–97, РД 08–95–95 [4,5].

Для определения остаточного ресурса проводятся следующие расчеты:

- поверочный расчет стенки резервуара на прочность;
- поверочный расчет стенки резервуара на устойчивость;
- расчет остаточного ресурса по критерию коррозионного износа;
- расчет остаточного ресурса по критерию малоциклового усталости.

В качестве примера приведем расчетную формулу, рекомендуемую для проверки стенки резервуара на прочность:

$$\sigma = \frac{[n_1 \rho(H-x) + n_2 P_u] r}{100\delta} \leq \gamma_c R_y^*, \quad (1.1)$$

где

$\sigma$  – расчетное напряжение в проверяемом поясе резервуара, Па;

$n_1$  – коэффициент перегрузки по гидростатическому давлению;

$\rho$  – плотность, кг/м<sup>3</sup>;

$H$  – высота нефти, м;

$x$  – расстояние от дна до уровня рассчитываемого пояса, м;

$n_2$  – коэффициент перегрузки для избыточного давления и вакуума;

$\delta$  – фактическая толщина  $i$ -го пояса стенки, м;

$\gamma_c$  – коэффициент условия работы;

$R^*_y$  – расчетное сопротивление стали по пределу текучести, Па.

Также рассмотрим поверочный расчет стенки резервуара на устойчивость.

Устойчивость стенки резервуара считается обеспеченной при выполнении следующего условия:

$$\frac{\sigma_1}{\sigma_{cr1}} + \frac{\sigma_2}{\sigma_{cr2}} \leq 1; \quad (1.2)$$

$$\sigma_{cr1} = C_0 \frac{E}{\delta}; \quad (1.3)$$

$$\sigma_{cr2} = 0,55 \frac{r}{H_r} \times \frac{E}{\sqrt{\delta^3}}, \quad (1.4)$$

где  $\sigma^1$  – меридиональное напряжение в  $i$ -ом поясе стенки, Па;

$\sigma^2$  – кольцевое напряжение в  $i$ -ом поясе стенки, Па;

$E$  – модуль упругости, МПа;

$C_0$  - По таблице 5.1 РД 153-112-017-97;

$H_r$  – редуцированная высота стенки, м;

$\delta$  – фактическая толщина  $i$ -го пояса стенки, м.

При определении напряжения по формуле (1), при определении устойчивости стенки резервуара по условию (3) не учитываются искажения геометрии стенки, накопленные в процессе эксплуатации.

Учитывая всё вышесказанное, в данной диссертации использовался метод конечный элементов.

## 1.8 Метод конечных элементов

Метод конечных элементов (МКЭ) – численный метод решения дифференциальных уравнений широкого класса задач техники и физики. Принципиальная идея МКЭ заключается в том, что любая непрерывная величина аппроксимируется дискретной моделью, строящейся на множестве кусочно-непрерывных функций, определенных на конечном числе элементов (подобластей). Процедура конечно-элементного анализа производится в следующей последовательности [6]:

1. Дискретизация твердого деформируемого тела: исследуемая область аппроксимируется непересекающимися конечными элементами (КЭ). Вершины КЭ являются узловыми точками, предназначенными для задания компонент решения и геометрического описания КЭ. Внешние узловые точки располагаются на границах подобласти и предназначены для соединения КЭ между собой, внутренние узлы предназначены для обеспечения максимально точного описания искомых функций. Все узловые точки и конечные элементы нумеруются так, чтобы разница номеров узловых точек в конечных элементах была наименьшей. Конечное число независимых параметров в узловой точке представляет собой степени свободы, в качестве которых могут выступать производные неизвестной функции в узлах и непосредственно её узловые значения. При расчете методом конечных элементов используются одномерные (стержневые), плоские двумерные (треугольные, четырехугольные), трехмерные КЭ (тетраэдр, параллелепипед) и др. Свойства конечных элементов фиксируются с помощью постоянных и дополнительных опций. Требуется задать свойства материала, так в случае решения задач деформирования задаются такие постоянные, как модуль деформации и коэффициент Пуассона

2. Выбор базисных функций: как правило, аппроксимирующие функции являются полиномами различного порядка: линейного, квадратичного, кубического и др.

3. Формирование системы линейных алгебраических уравнений (СЛАУ), задание граничных условий: при решении задачи в вариационной

постановке СЛАУ формируется после приравнивания к 0 производных функции; при решении задачи методом взвешенных невязок производится формирование интегралов от произведения невязки на весовые функции, которые впоследствии приравниваются к 0. Интегралы по исследуемой области разбиваются на интегралы по подобластям, затем определяются элементарные векторы и матрицы, служащие основой для формирования глобальной матрицы жесткости [7].

4. Решение системы уравнений.

5. Вычисление расчетных величин (деформаций и напряжений) в КЭ.

При определении НДС резервуара, статическую задачу МКЭ удобно рассматривать в вариационной постановке Лагранжа. Основное разрешающее уравнение для задач статики имеет вид [8]:

$$\{F\} + \{F\}^{\sigma 0} + \{F\}^{\varepsilon 0} + \{F\}^g + \{F\}^q = \{U\} [K], \quad (1.5)$$

где  $\{U\}$  - глобальный вектор узловых перемещений;

$\{F\}$  - глобальный вектор внешних узловых сил;

$\{F\}^{\sigma 0} + \{F\}^{\varepsilon 0} + \{F\}^g + \{F\}^q$  - глобальные векторы узловых сил, соответствующие начальным напряжениям, начальным деформациям, массовым и поверхностным силам;

$[K]$  - глобальная матрица жесткости конечно-элементной модели.

Разрешающее уравнение (2) с учетом заданных связей будет иметь единственное решение лишь в случае отсутствия возможности перемещения конструкции, испытывающей нагрузку, как абсолютно твердого тела. До учета граничных условий определитель матрицы жесткости системы равен 0, матрица жесткости тела является уникальной. В работах [9, 10, 11] показано, что для исследования прочности и устойчивости тонкостенных оболочечных конструкций наиболее рационально использование программного пакета ANSYS

## 2. Объект исследования

В настоящей работе проведен анализ снижения остаточного ресурса резервуара вертикального стального вследствие отклонений стенки от вертикали. Его основные характеристики приведены в таблице 1.

Таблица 1 - Технические характеристики РВС

Характеристика	Значение
<b>Основные характеристики</b>	
Объем резервуара, м <sup>3</sup>	10000
Диаметр резервуара, м	34,2
Высота стенки, м	12
Количество поясов стенки, шт	8
Толщина 2-8 поясов стенки, м	$8 \times 10^{-3}$
Толщина 1 пояса стенки, м	$10^{-2}$
Толщина центральной части днища, м	$5 \times 10^{-3}$
Толщина окроек днища, м	$9 \times 10^{-3}$
Толщина настила крыши, м	$5 \times 10^{-3}$
Несущий элемент крыши	Двутавр I-20Б1
<b>Материальное исполнение</b>	
Марка стали	09Г2С
Модуль Юнга, Па	$2,1 \times 10^9$
Коэффициент Пуассона	0,3
Класс прочности стали	345
<b>Характеристики среды и наполняемости резервуара</b>	
Плотность нефти при 20°C, кг/м <sup>3</sup>	870
Высота залива нефти, м	10
Годовая оборачиваемость резервуара, 1/год	350

По результатам инструментального контроля геометрии резервуара определены отклонения стенки от вертикали. На рисунке 2 показана схема расположения поясов и нумерация секторов при проведении замеров.

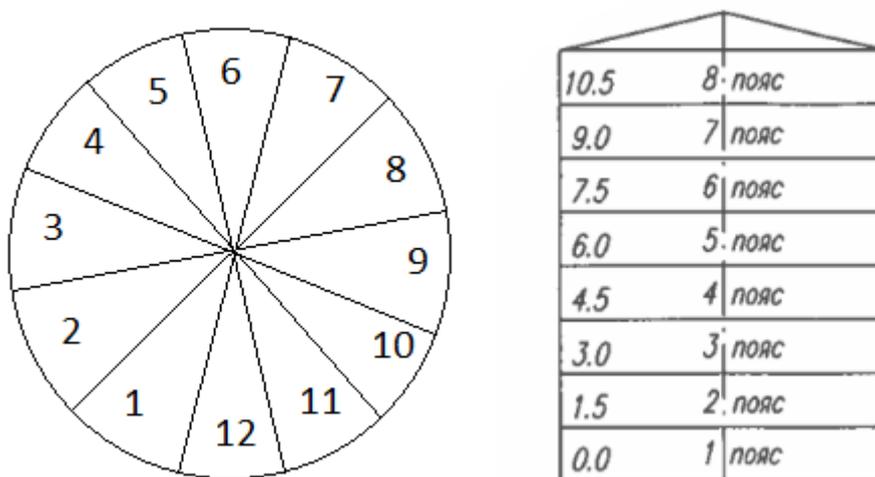


Рисунок 2 - Пояса и сечения резервуара

Значения отклонений стенок резервуара от вертикали представлены в миллиметрах в таблице 2.

Таблица 2 - Отклонения стенок РВС от вертикали, мм

№ пояса	Сечение											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
8	-32	-3	-38	-88	-55	-18	24	24	16	-39	-42	-23
7	-15	-2	-47	-82	-52	-19	10	17	11	-44	-59	-19
6	1	-1	-8	-67	-37	-5	25	18	18	-25	-52	-11
5	5	-5	47	-60	-36	-7	17	10	12	-10	-47	-14
4	13	0	48	-48	-20	-1	21	13	15	5	-53	-6
3	9	-7	47	-37	-20	-7	9	8	13	1	-44	-6
2	13	-4	48	-19	-11	1	-4	10	11	6	-36	-7
1	14	-6	20	-7	-11	-2	-10	10	10	7	-30	-3

Согласно СП 70.13330.2012 предельные отклонения имеют значения, представленные в таблице 3 [13].

Таблица 3 - Предельные отклонения от вертикали

Объем резервуара, м <sup>3</sup>	Предельные отклонения от вертикали, мм											
	10	20	30	40	45	50	-	-	-	-	-	-
100-700	10	20	30	40	45	50	-	-	-	-	-	-
1000-5000	15	25	35	45	55	60	65	70	75	80	-	-
10000-20000	20	30	40	50	60	70	75	80	85	90	90	90
30000-50000	30	40	50	60	70	75	80	85	90	90	90	90

Из данной таблицы видим, что в некоторых местах значения дефектов вышли за пределы допуска для данного резервуара, исходя из этого будут построены 2 модели резервуара, одна модель будет с отклонениями, вторая без них с целью определения зависимости влияния отклонения стенки резервуара от вертикали на остаточный ресурс.

## 2.1 Перевод значений отклонения стенок РВС в систему координат XYZ

Для построения геометрии необходимо значения отклонений перевести в систему координат XYZ. В программе Microsoft Excel с помощью формул для перевода полярных координат в декартовые определяем местоположение каждой точки:

$$x = \rho_R \cos(\varphi) + \rho_\delta \cos(\varphi); \quad (2.1)$$

$$y = \rho_R \sin(\varphi) + \rho_\delta \sin(\varphi), \quad (2.2)$$

где  $\rho_R$  – полярный радиус резервуара;

$\rho_\delta$  – полярный радиус отклонения стенки от вертикали точки;

$\varphi$  – полярный угол точки.

Рассчитав координаты  $x$  и  $y$  точек, геометрических отклонений стенки и точек стенки без отклонений, суммируем их. Зная высоту пояса стенки резервуара, координаты  $z$ , начиная от 0 до 12 имеют шаг 1,5 для точек, находящихся на разных поясах.

Значения координат для построения геометрии резервуаров с отклонениями от вертикали и без отклонений занесены в таблицу 4 и таблицу 5 соответственно.

Таблица 4 - координаты точек резервуара с отклонениями от вертикали

№	X	Y	Z	№	X	Y	Z	№	X	Y	Z
1	17,1000	0	0	13	17,1135	0	1,5	25	17,1110	0	3
2	14,8090	8,5500	0	14	14,8047	8,5475	1,5	26	14,8043	8,5473	3
3	8,5500	14,8090	0	15	8,5670	14,8385	1,5	27	8,5738	14,8502	3
4	0	17,1000	0	16	0	17,0870	1,5	28	0	17,0720	3
5	-8,5500	14,8090	0	17	-8,5445	14,7995	1,5	29	-8,5423	14,7956	3
6	-14,8090	8,5500	0	18	-14,8103	8,5508	1,5	30	-14,8064	8,5485	3
7	-17,1000	0	0	19	-17,0930	0	1,5	31	-17,1025	0	3
8	-14,8090	-8,5500	0	20	-14,8177	-8,5550	1,5	32	-14,8168	-8,5545	3
9	-8,5500	-14,8090	0	21	-8,5553	-14,8181	1,5	33	-8,5560	-14,8194	3
10	0	-17,1000	0	22	0	-17,1065	1,5	34	0	-17,1035	3
11	8,5500	-14,8090	0	23	8,5335	-14,7805	1,5	35	8,5300	-14,7744	3
12	14,8090	-8,5500	0	24	14,8047	-8,5475	1,5	36	14,8034	-8,5468	3
37	17,1110	0	4,5	49	17,1090	0	6	61	17,1030	0	7,5
38	14,8060	8,5483	4,5	50	14,8069	8,5488	6	62	14,8064	8,5485	7,5
39	8,5738	14,8502	4,5	51	8,5738	14,8502	6	63	8,5598	14,8259	7,5
40	0	17,0575	4,5	52	0	17,0460	6	64	0	17,0365	7,5
41	-8,5400	14,7917	4,5	53	-8,5360	14,7848	6	65	-8,5318	14,7774	7,5
42	-14,8056	8,5480	4,5	54	-14,8056	8,5480	6	66	-14,8038	8,5470	7,5
43	-17,1150	0	4,5	55	-17,1190	0	6	67	-17,1210	0	7,5
44	-14,8190	-8,5558	4,5	56	-14,8190	-8,5558	6	68	-14,8212	-8,5570	7,5
45	-8,5570	-14,8212	4,5	57	-8,5568	-14,8207	6	69	-8,5575	-14,8220	7,5
46	0	-17,1030	4,5	58	0	-17,0975	6	70	0	-17,1175	7,5
47	8,5258	-14,7670	4,5	59	8,5250	-14,7657	6	71	8,5253	-14,7662	7,5
48	14,8038	-8,5470	4,5	60	14,8004	-8,5450	6	72	14,7982	-8,5438	7,5
73	17,0930	0	9	85	17,0765	0	10,5	97	17,1000	0	12
74	14,8077	8,5493	9	86	14,8069	8,5488	10,5	98	14,8090	8,5500	12

<b>75</b>	8,5363	14,7852	9	<b>87</b>	8,5288	14,7722	10,5	<b>99</b>	8,5500	14,8090	12
<b>76</b>	0	17,0255	9	<b>88</b>	0	17,0150	10,5	<b>100</b>	0	17,1000	12
<b>77</b>	-8,5278	14,7705	9	<b>89</b>	-8,5233	14,7627	10,5	<b>101</b>	-8,5500	14,8090	12
<b>78</b>	-14,7986	8,5440	9	<b>90</b>	-14,7930	8,5408	10,5	<b>102</b>	-14,8090	8,5500	12
<b>79</b>	-17,1175	0	9	<b>91</b>	-17,1170	0	10,5	<b>103</b>	-17,1000	0	12
<b>80</b>	-14,8242	-8,5588	9	<b>92</b>	-14,8268	-8,5603	10,5	<b>104</b>	-14,8090	-8,5500	12
<b>81</b>	-8,5573	-14,8216	9	<b>93</b>	-8,5568	-14,8207	10,5	<b>105</b>	-8,5500	-14,8090	12
<b>82</b>	0	-17,0655	9	<b>94</b>	0	-17,0585	10,5	<b>106</b>	0	-17,1000	12
<b>83</b>	8,5223	-14,7610	9	<b>95</b>	8,5248	-14,7653	10,5	<b>107</b>	8,5500	-14,8090	12
<b>84</b>	14,7960	-8,5425	9	<b>96</b>	14,7908	-8,5395	10,5	<b>108</b>	14,8090	-8,5500	12

Таблица 5 - координаты точек резервуара без отклонений от вертикали

<b>№</b>	<b>X</b>	<b>Y</b>	<b>Z</b>	<b>№</b>	<b>X</b>	<b>Y</b>	<b>Z</b>	<b>№</b>	<b>X</b>	<b>Y</b>	<b>Z</b>
<b>1</b>	17,1000	0	0	<b>13</b>	17,1000	0	1,5	<b>25</b>	17,1000	0	3
<b>2</b>	14,8090	8,5500	0	<b>14</b>	14,8090	8,5500	1,5	<b>26</b>	14,8090	8,5500	3
<b>3</b>	8,5500	14,8090	0	<b>15</b>	8,5500	14,8090	1,5	<b>27</b>	8,5500	14,8090	3
<b>4</b>	0	17,1000	0	<b>16</b>	0	17,1000	1,5	<b>28</b>	0	17,1000	3
<b>5</b>	-8,5500	14,8090	0	<b>17</b>	-8,5500	14,8090	1,5	<b>29</b>	-8,5500	14,8090	3
<b>6</b>	-14,8090	8,5500	0	<b>18</b>	-14,8090	8,5500	1,5	<b>30</b>	-14,8090	8,5500	3
<b>7</b>	-17,1000	0	0	<b>19</b>	-17,1000	0	1,5	<b>31</b>	-17,1000	0	3
<b>8</b>	-14,8090	-8,5500	0	<b>20</b>	-14,8090	-8,5500	1,5	<b>32</b>	-14,8090	-8,5500	3
<b>9</b>	-8,5500	-14,8090	0	<b>21</b>	-8,5500	-14,8090	1,5	<b>33</b>	-8,5500	-14,8090	3
<b>10</b>	0	-17,1000	0	<b>22</b>	0	-17,1000	1,5	<b>34</b>	0	-17,1000	3
<b>11</b>	8,5500	-14,8090	0	<b>23</b>	8,5500	-14,8090	1,5	<b>35</b>	8,5500	-14,8090	3
<b>12</b>	14,8090	-8,5500	0	<b>24</b>	14,8090	-8,5500	1,5	<b>36</b>	14,8090	-8,5500	3
<b>37</b>	17,1000	0	4,5	<b>49</b>	17,1000	0	6	<b>61</b>	17,1000	0	7,5
<b>38</b>	14,8090	8,5500	4,5	<b>50</b>	14,8090	8,5500	6	<b>62</b>	14,8090	8,5500	7,5
<b>39</b>	8,5500	14,8090	4,5	<b>51</b>	8,5500	14,8090	6	<b>63</b>	8,5500	14,8090	7,5
<b>40</b>	0	17,1000	4,5	<b>52</b>	0	17,1000	6	<b>64</b>	0	17,1000	7,5
<b>41</b>	-8,5500	14,8090	4,5	<b>53</b>	-8,5500	14,8090	6	<b>65</b>	-8,5500	14,8090	7,5
<b>42</b>	-14,8090	8,5500	4,5	<b>54</b>	-14,8090	8,5500	6	<b>66</b>	-14,8090	8,5500	7,5

<b>43</b>	-17,1000	0	4,5	<b>55</b>	-17,1000	0	6	<b>67</b>	-17,1000	0	7,5
<b>44</b>	-14,8090	-8,5500	4,5	<b>56</b>	-14,8090	-8,5500	6	<b>68</b>	-14,8090	-8,5500	7,5
<b>45</b>	-8,5500	-14,8090	4,5	<b>57</b>	-8,5500	-14,8090	6	<b>69</b>	-8,5500	-14,8090	7,5
<b>46</b>	0	-17,1000	4,5	<b>58</b>	0	-17,1000	6	<b>70</b>	0	-17,1000	7,5
<b>47</b>	8,5500	-14,8090	4,5	<b>59</b>	8,5500	-14,8090	6	<b>71</b>	8,5500	-14,8090	7,5
<b>48</b>	14,8090	-8,5500	4,5	<b>60</b>	14,8090	-8,5500	6	<b>72</b>	14,8090	-8,5500	7,5
<b>73</b>	17,1000	0	9	<b>85</b>	17,1000	0	10,5	<b>97</b>	17,1000	0	12
<b>74</b>	14,8090	8,5500	9	<b>86</b>	14,8090	8,5500	10,5	<b>98</b>	14,8090	8,5500	12
<b>75</b>	8,5500	14,8090	9	<b>87</b>	8,5500	14,8090	10,5	<b>99</b>	8,5500	14,8090	12
<b>76</b>	0	17,1000	9	<b>88</b>	0	17,1000	10,5	<b>100</b>	0	17,1000	12
<b>77</b>	-8,5500	14,8090	9	<b>89</b>	-8,5500	14,8090	10,5	<b>101</b>	-8,5500	14,8090	12
<b>78</b>	-14,8090	8,5500	9	<b>90</b>	-14,8090	8,5500	10,5	<b>102</b>	-14,8090	8,5500	12
<b>79</b>	-17,1000	0	9	<b>91</b>	-17,1000	0	10,5	<b>103</b>	-17,1000	0	12
<b>80</b>	-14,8090	-8,5500	9	<b>92</b>	-14,8090	-8,5500	10,5	<b>104</b>	-14,8090	-8,5500	12
<b>81</b>	-8,5500	-14,8090	9	<b>93</b>	-8,5500	-14,8090	10,5	<b>105</b>	-8,5500	-14,8090	12
<b>82</b>	0	-17,1000	9	<b>94</b>	0	-17,1000	10,5	<b>106</b>	0	-17,1000	12
<b>83</b>	8,5500	-14,8090	9	<b>95</b>	8,5500	-14,8090	10,5	<b>107</b>	8,5500	-14,8090	12
<b>84</b>	14,8090	-8,5500	9	<b>96</b>	14,8090	-8,5500	10,5	<b>108</b>	14,8090	-8,5500	12

### 3. Построение модели, расчет эквивалентных напряжений и оценка их влияния на усталостную долговечность.

#### 3.1 Создание геометрической модели РВС 10000 м<sup>3</sup> в ПК ANSYS, задание сил, действующих на резервуар.

Для построения геометрии резервуара в ПК Ansys, необходимо перенести значения координат XYZ в файл формата .txt, далее в самом программном комплексе с помощью команд Point > From Coordinates File > И выбираем созданный ранее файл.

Перенесенные точки в программе Ansys выглядят следующим образом, как показано на рисунке 3.

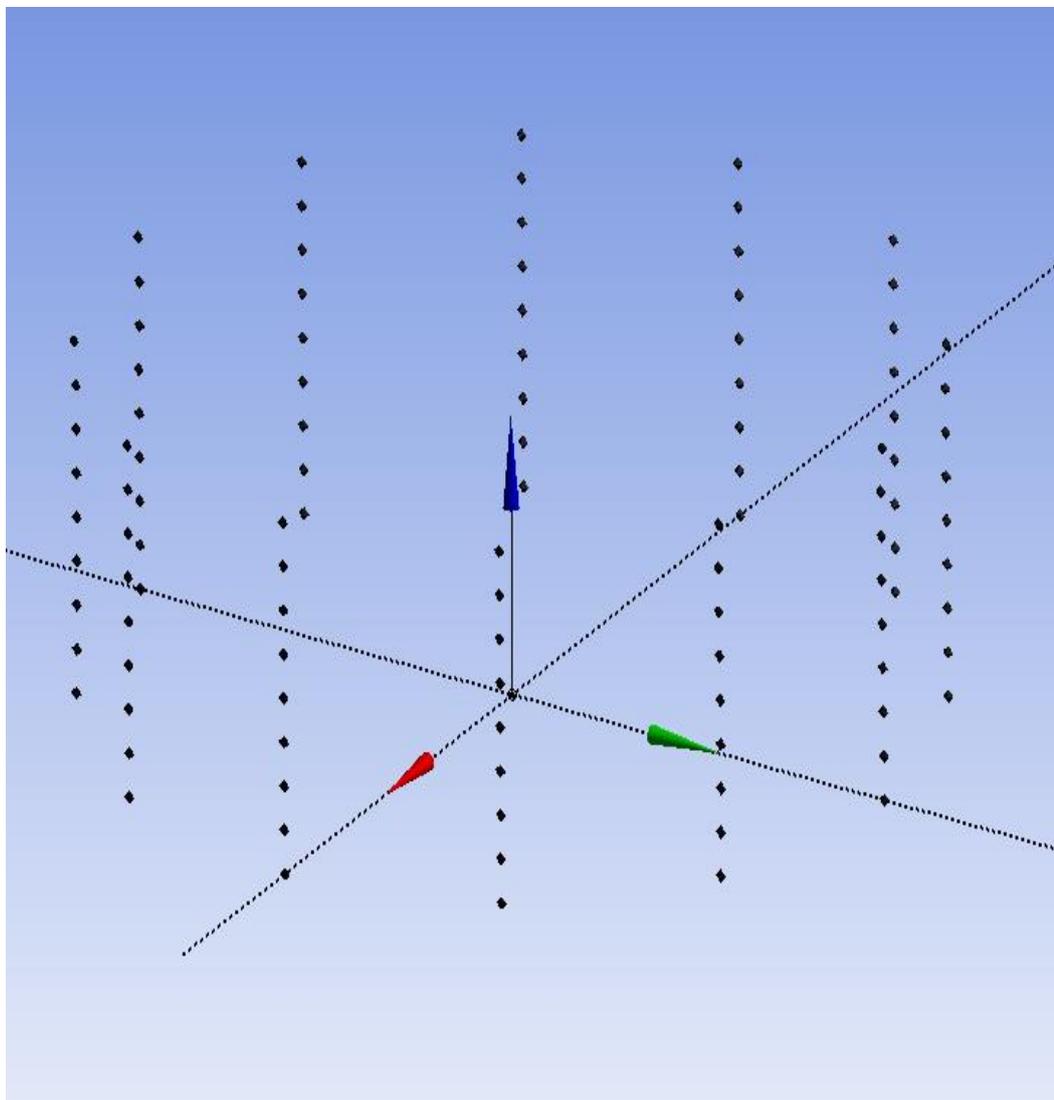


Рисунок 3 - Точки для построения геометрии

Далее соединяем точки в 8 поясов и строим днище резервуара с помощью команд Create “Curve”, выбрав 11 точек на одном уровне по координате Z замыкаем “Curve” командой “Closed End”, после того как построены линии, создаем плоскости командой “Create Surf”, полученный результат отображен на рисунке 4.

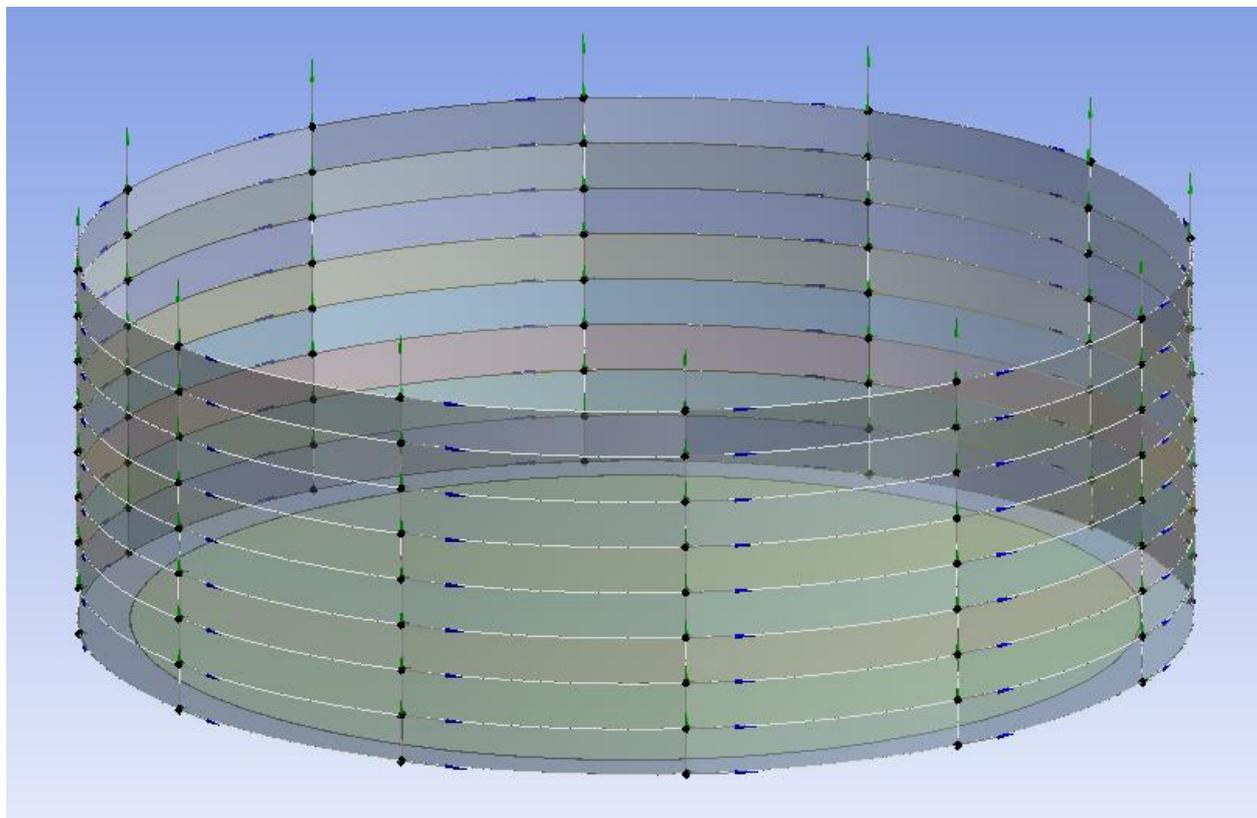


Рисунок 4 - Стенка и днище резервуара

Далее строим настил и несущие элементы (двухавры) крыши (Рисунок 45) и соединяем с основным корпусом резервуара (Рисунок 6).

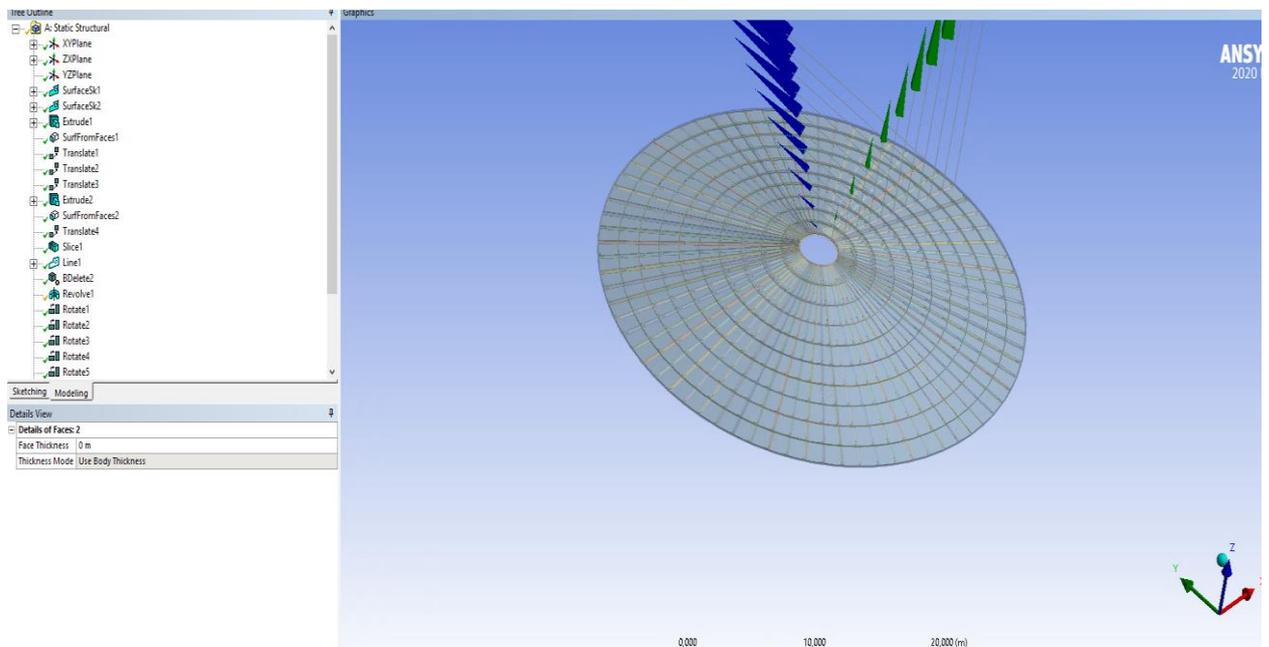


Рисунок 5 - Крыша резервуара

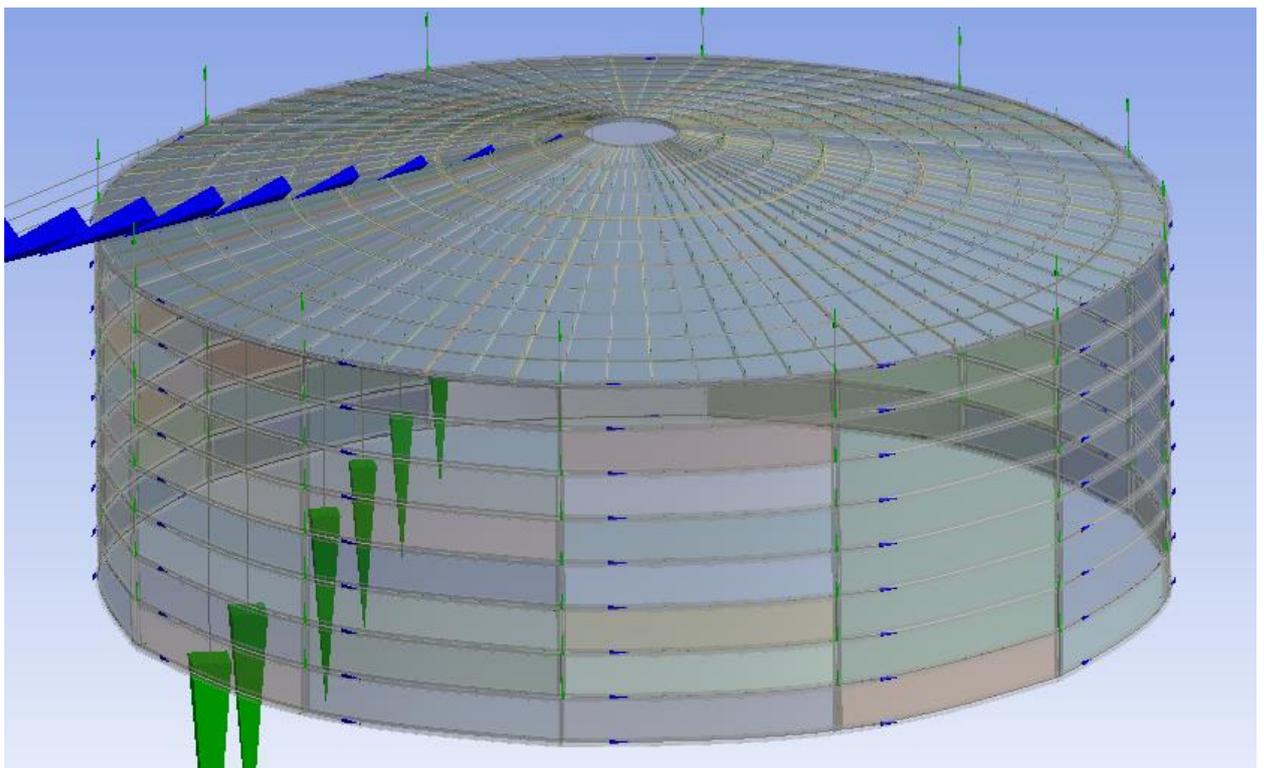


Рисунок 6 - Готовая геометрия резервуара

После построения геометрии РВС необходимо выбрать сталь и задать ей параметры согласно таблице 1. В Engineering Data создаем необходимую нам сталь и её параметры, процесс отображен на рисунке 7

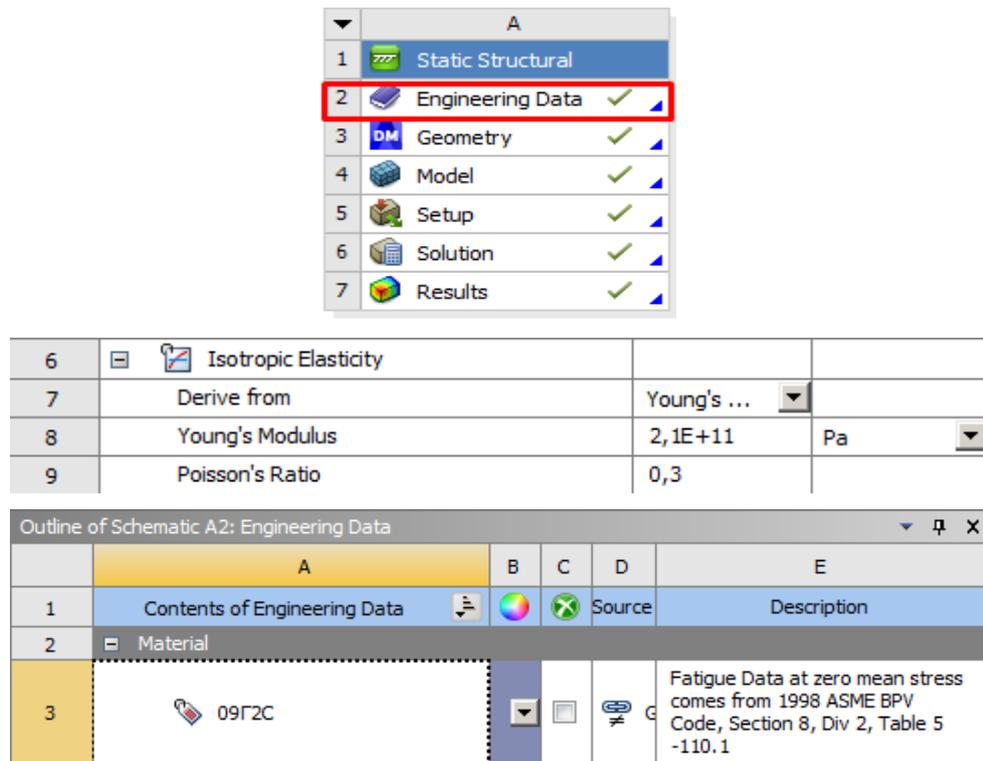


Рисунок 7 - Создание стали

После построения геометрии резервуара задаем толщины и сталь всем составляющим резервуара. Для получения численного решения необходимо произвести разбиение геометрической модели резервуара на сетку конечных элементов. С помощью функции “Mesh” строим сетку для наиболее точного определения напряжений, возникающий на РВС (Рисунок 8).

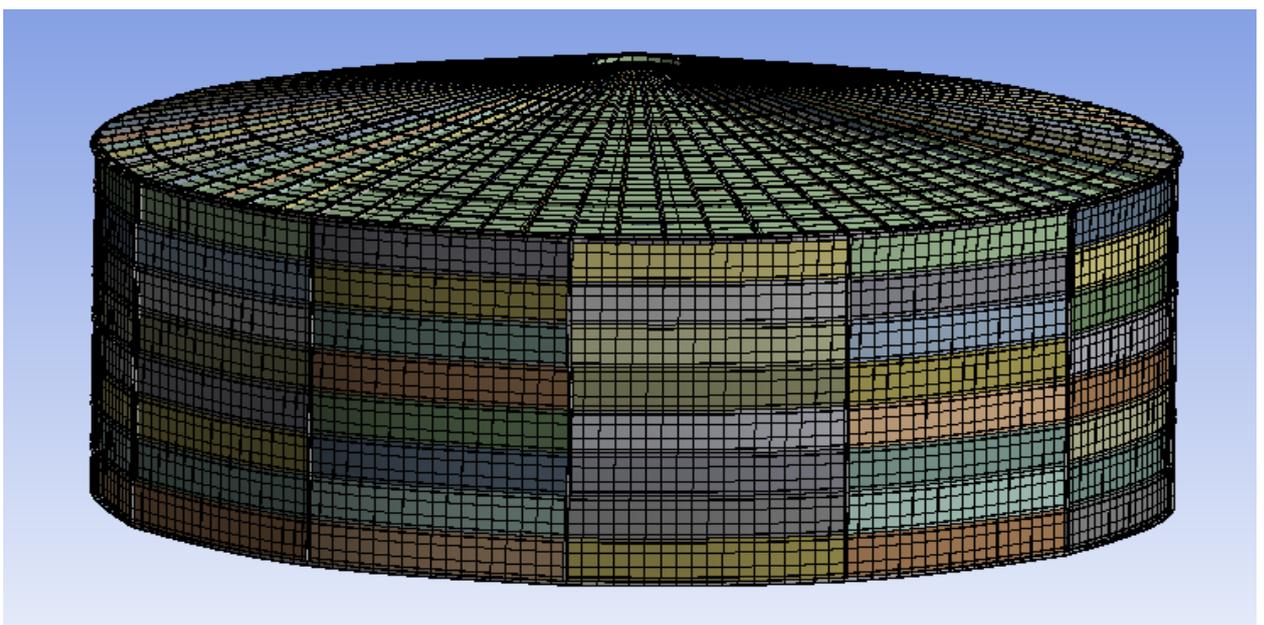


Рисунок 8 - Сетка конечных элементов резервуара

Далее прилагаем силу, действующую на резервуар - гидростатическое давление жидкости – высота заполнения 10 м и ускорение свободного падения  $9,81 \text{ м}^2/\text{с}$  (Рисунок 9)

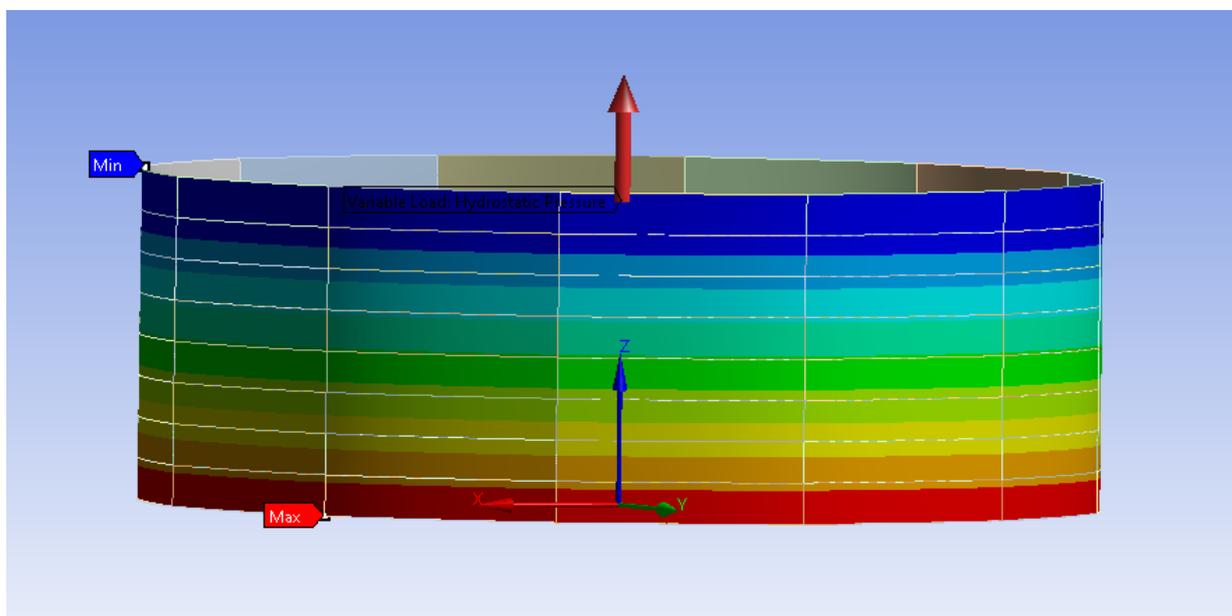


Рисунок 9 - Гидростатическое давление, действующее на резервуар

### 3.2. Расчет эквивалентных напряжений РВС в результате воздействия гидростатического давления на РВС

Проводим в программном комплексе Ansys расчет эквивалентных напряжений, образовавшихся в результате воздействия на резервуар гидростатического давления жидкости.

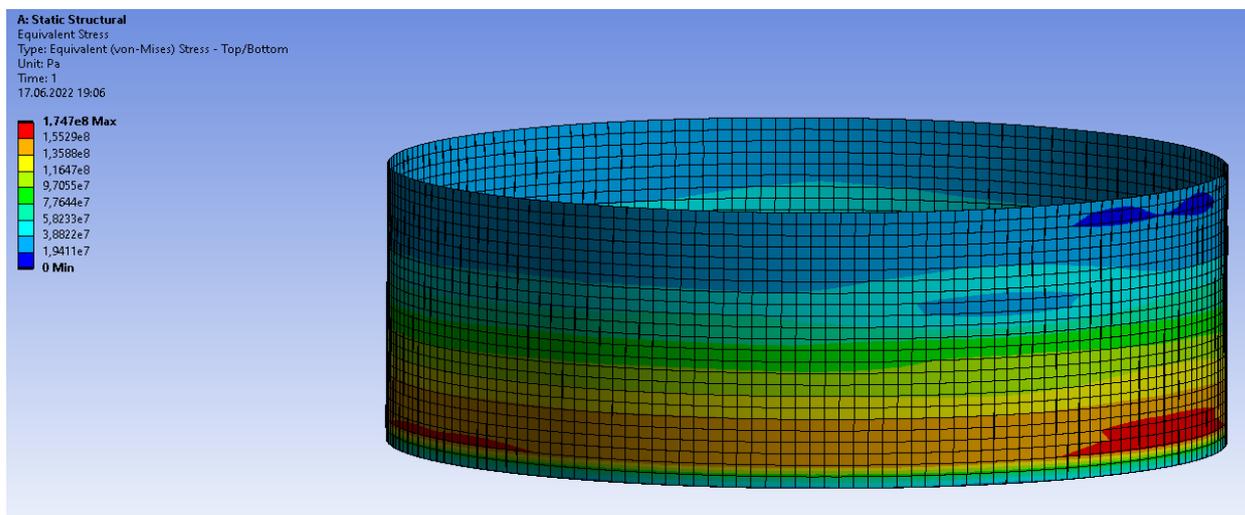


Рисунок 10 - Эквивалентные напряжения резервуара с отклонениями стенки резервуара от вертикали

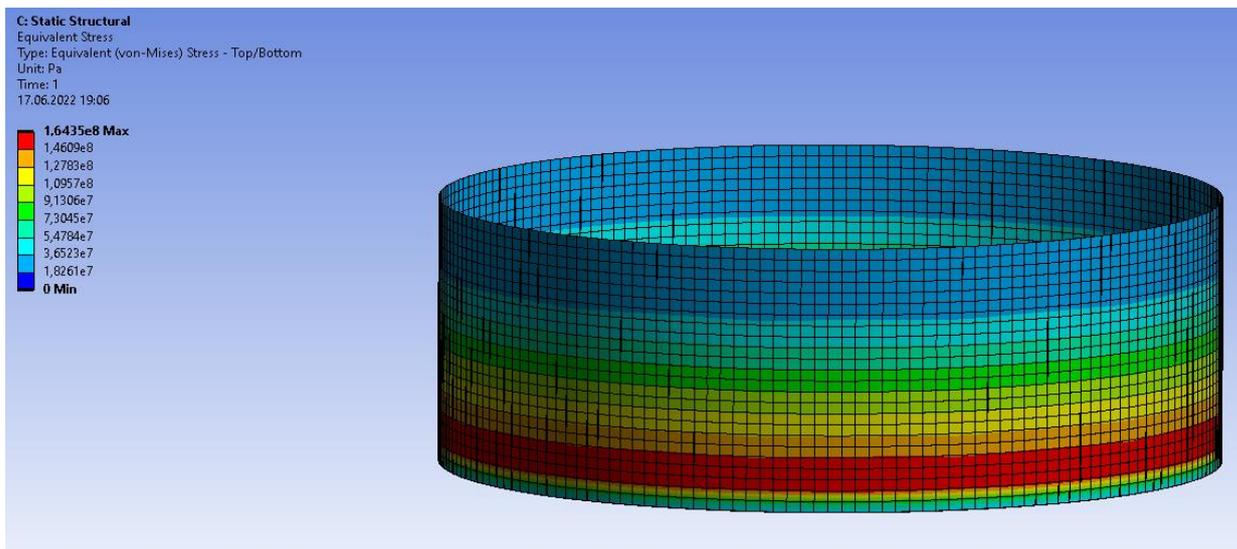


Рисунок 11 – Эквивалентные напряжения резервуара без отклонений

Максимальные напряжения в резервуаре с отклонениями от вертикали сконцентрировались в нижнем поясе и составили 174,8 МПа. Полученное значение совсем близко к допускаемому напряжению - 183 МПа. Для резервуара без отклонений от вертикали максимальные напряжения составили 163,0 МПа и также находятся в нижнем поясе.

С помощью функции “Fatigue Tool” > “Life” определяем количество циклов слива/налива для двух резервуаров, полученные результаты отображены на рисунке 12.

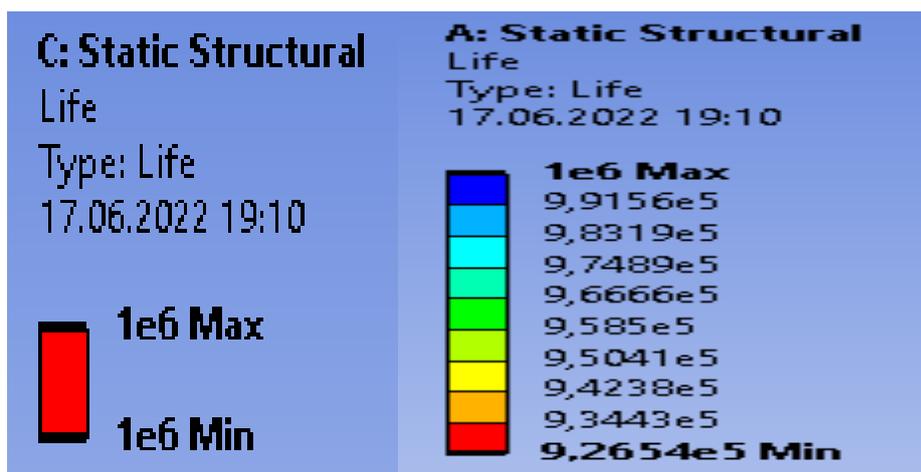


Рисунок 12 – Количество циклов налива/слива для обеих моделей (слева для РВС без отклонений, справа с учетом отклонений)

Стоит отметить, что при количестве циклов  $10^6$  и более, максимальное значение результата будет отображаться не более  $10^6$  циклов.

Сравнив результаты максимальных напряжений и количество циклов налива/слива можно прийти к выводу, что отклонения стенок резервуара от вертикали влияет на его усталостную долговечность.

### 3.2 Определение усталостной долговечности

Прогнозирование ресурса производится по критерию малоциклового усталости [2]:

$$T = \frac{N_{oc}}{n_0}, \quad (3.1)$$

где  $N_{oc}$  - число циклов работы резервуара до образования макротрещины, соответствует минимальному количеству циклов заполнения ( $N_1$ ) и слива ( $N_2$ ) резервуара, значение которых рассчитывается по следующим формулам:

$$N_1 = \frac{1}{4} \left( \frac{1,28E \ln \frac{1}{1-\psi}}{1,28n_{\sigma} \frac{\sigma_a}{\varphi_c} - \sigma_{-1}} - 1 \right)^2; \quad (3.2)$$

$$N_2 = \frac{1}{4n_N} \left( \frac{1,28E \ln \frac{1}{1-\psi}}{1,28n_{\sigma} \frac{\sigma_a}{\varphi_c} - \sigma_{-1}} - 1 \right)^2, \quad (3.3)$$

где  $\psi$  – относительное сужение, равно 0,55;

$n_{\sigma}$  – коэффициент запаса по напряжениям, 2;

$\sigma_a$  – амплитуда условных напряжений, МПа;

$\varphi_c$  – коэффициент влияния сварки, 0,8;

$\sigma_{-1}$  – предел выносливости, 240 МПа;

$n_N$  – коэффициент запаса долговечности, 10;

$E$  - модуль упругости,  $E = 2 \times 10^5$  МПа.

$$\sigma_a = 0,5K_{\sigma}\sigma_H, \quad (3.4)$$

где  $K_{\sigma}$  - коэффициент концентрации напряжений, 1,9;

$\sigma_H$  - максимальное напряжение, возникшее на резервуаре.

Подставив значения в формулы, получаем остаточный ресурс (таблица 6).

#### 4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

В данном разделе произведен расчет стоимости для определения отличий усталостных долговечностей резервуара вертикального стального объемом 10000 м<sup>3</sup> с отклонениями от вертикали стенки резервуара и без отклонений. Для выполнения технического диагностирования резервуара с целью получения данных отклонения от вертикали стенок, исполнителем будет выступать компания, специализирующаяся на данном виде работы, стоимость услуги по диагностированию будут рассчитаны двумя методами с целью определения более экономически эффективного варианта.

##### 4.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Продукт: РВС, целевой рынок: нефтегазовые компании

		Вид исследования		
		Проектирование РВС	Анализ работы эксплуатируемого РВС	Конструирование РВС
Размер компании	Крупные			
	Средние			
	Мелкие			

Рисунок 14 - Карта сегментирования рынка услуг нефтегазовой отрасли

 - «Фирма А»  - «Фирма Б»  - «Фирма В»

Конструирование РВС, как правило, могут позволить себе только крупные компании по причине колоссальных затрат. Проектирование РВС бессмысленно без дальнейшего конструирования. При всём этом, все компании предпочитают анализировать остаточный ресурс РВС в процессе эксплуатации, с дальнейшим его увеличением, путем ремонта.

## 4.2 Планирование 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, для простоты, разделим эти должности на «руководитель» и «ассистент». 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 7 [15].

Таблица 7 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Выбор темы исследования	1	Календарное планирование	Руководитель, ассистент
	2	Выбор алгоритма исследования	Руководитель, ассистент
	3	Подбор и изучение литературы по теме	Руководитель, ассистент
Разработка тех. задания	4	Составление и утверждение тех. задания	Руководитель, ассистент

Продолжение таблицы 7

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Теоретические и экспериментальные исследования	5	Проведение теоретических расчетов и обоснование	Руководитель, ассистент
	6	Проектирование модели и проведение экспериментов	Руководитель, ассистент
Обобщение результатов расчета	7	Оценка результатов исследования	Руководитель, ассистент
Оформление отчета работы	8	Составление пояснительной записки	Руководитель, ассистент

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 «человекоднях» и носит вероятностный характер, т.к. зависит от множества трудно учитываемых факторов. Для определения, ожидаемого (среднего) значения трудоемкости  $t_{ожі}$  используется следующая формула:

$$t_{ожі} = \frac{3t_{mini} + 2t_{maxi}}{5}, \quad (4.1)$$

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

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

$t_{maxi}$  – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной  $i$ -ой работы (пессимистическая оценка: в предложении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.;

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях  $T_p$ , 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%.

$$T_{pi} = \frac{t_{ожі}}{Ч_i}, \quad (4.2)$$

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

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

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

В качестве примера рассчитаем продолжительность одной работы – календарное планирование:

$$t_{ожі} = \frac{3 \times 2 + 2 \times 7}{5} = 4 \text{ чел. – дн.}; \quad (4.3)$$

$$T_{pi} = \frac{4}{1} = 4 \text{ дн.} \quad (4.4)$$

Разработка графика проведения научного исследования

Наиболее удобным и наглядным является построение ленточного графика проведения 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.

Таблица 8 – Календарный план–график проведения работ

Вид работ	Исполнители	$T_k$ , кал.дн	Продолжительность выполнения работ												
			февраль					март							
Календарное планирование	Р,А	3													
Выбор алгоритма исследования	Р,А	9													

Продолжение таблицы 8

Вид работ	Исполнители	Т <sub>к</sub> , кал.дн	Продолжительность выполнения работ												
			февраль					март							
Подбор и изучение литературы по теме	Р,А	2			■										
Составление и утверждение тех. задания	Р,А	12				■									
Проведение теоретических расчетов и обоснование	Р,А	9					■	■							
Проектирование модели и проведение экспериментов	Р,А	9								■					
Оценка результатов исследования	Р,А	5									■				
Составление пояснительной записки	Р.А	4											■		

Р – руководитель; А – ассистент.

### 4.3 Бюджет научно-технического исследования

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

Затраты на покупку программного обеспечения Ansys и установку на компьютер:

$$Z = d_k + d_{по} = 0 + 22931 = 22931 \text{ руб.}, \quad (4.5)$$

где  $d_k$  – стоимость компьютера (примем, что есть в наличии и нет необходимости его закупки);

$d_{\text{по}}$  – стоимость программного обеспечения, 1490\$;

$d_{\text{по}} = 22931$  руб. (курс доллара по ЦБ РФ - 58,39).

Основная заработная плата

Статья включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением проекта, (включая премии, доплаты) и дополнительную заработную плату:

$$C_{\text{зп}} = Z_{\text{осн}} \times Z_{\text{доп}}, \quad (4.6)$$

где  $C_{\text{зп}}$  – общая заработная плата;

$Z_{\text{осн}}$ ,  $Z_{\text{доп}}$  – основная и дополнительная заработные платы.

Основная заработная плата руководителя рассчитывается по следующей форме:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \times T_{\text{раб}}, \quad (4.7)$$

где  $T_{\text{р}}$  – продолжительность работ, выполняемых работником, раб. дн.;

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

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_{\text{м}} \times M}{F_{\text{д}}} = \frac{51413 \times 11,1}{219} = 2605 \text{ руб.}, \quad (4.8)$$

где  $Z_{\text{м}}$  – месячный оклад работника, руб.;

$M$  – количество месяцев работы без отпуска в течение года (при отпуске в 28 дней  $M = 11,1$ );

$F_{\text{д}}$  – действительный годовой фонд рабочего времени работника, раб. дн.

Таблица 9 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Ассистент
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней (выходные и праздничные дни)	118	118
Потери рабочего времени (отпуск)	28	28
Действительный годовой фонд рабочего времени	219	219

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_m = Z_{тс} \times (1 + k_{пр} + k_d) \times k_p =$$

$$= 23264 \times (1 + 0,3 + 0,4) \times 1,3 = 51413 \text{ руб.} \quad (4.9)$$

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

$k_{пр}$  – премиальный коэффициент, равный 0,3;

$k_d$  – коэффициент доплат и надбавок, составляет примерно 0,2 – 0,5 (в НИИ и на промышленных предприятиях – расширение сфер обслуживания, за профессиональное мастерство);

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

Тарифная заработная плата  $Z_{тс}$  находится из произведения тарифной ставки работника 1-го разряда  $T_{с1} = 600$  руб. на тарифный коэффициент  $k_t$  и учитывается по единой для бюджетной организации тарифной сетке. Для предприятий, не относящихся к бюджетной сфере, тарифная заработная плата (оклад) рассчитывается по тарифной сетке, принятой на данном предприятии.

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

Таблица 10 – Расчет основной заработной платы для исполнения

Исполнители	$Z_{тс}$ , руб.	$k_{пр}$	$k_d$	$k_p$	$Z_m$ , руб.	$Z_{дн}$ , руб.	$T_p$ , раб. дн	$Z_{осн}$ , руб.
Руководитель	23264	0,3	0,4	1,3	51413	2605	40	104200
Ассистент	14584	0	0	1,3	18959	961	40	38440
Итого								142640

#### Дополнительная заработная плата

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:

$$З_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \times З_{\text{осн}} = 0,13 \times 104200 = 13546 \text{ руб.}; \quad (4.10)$$

$$З_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \times З_{\text{осн}} = 0,13 \times 18959 = 2465 \text{ руб.}, \quad (4.11)$$

где  $З_{\text{доп}}$  – дополнительная заработная плата, руб.;

$k_{\text{доп}}$  – коэффициент дополнительной зарплаты, равен 0,13;

$$С_{\text{зп}} = 104200 + 13546 = 117746 \text{ руб. (для руководителя);}$$

$$С_{\text{зп}} = 38440 + 2465 = 40905 \text{ руб. (для исполнителя).}$$

#### **4.4 Страховые взносы в государственные внебюджетные фонды**

Исходя из ст. 425 НК РФ и закона «О тарифах на ОСС от НС и ПЗ» от 22.12.2005 № 179-ФЗ, включают в себя [16, 18]:

- 22% — тариф взносов на обязательное пенсионное страхование. Эта ставка применима только к той сумме оплаты труда работника, которая нарастающим итогом с начала года не выходит за рамки определенного лимита.
- 5,1% — тариф на обязательное медстрахование. Предельной базы для него нет, поэтому медвзносы начисляются на всю сумму вознаграждения, причитающуюся работнику.
- 2,9% — взносы на случай временной нетрудоспособности и в связи с материнством.
- 0,2% — это минимальная ставка по взносам для защиты при наступлении несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний в ФСС.

Таблица 11 – Страховые взносы

<b>Тариф</b>	<b>Руководитель</b>	<b>Ассистент</b>
Обязательное пенсионное страхование	25904,12 руб.	8999,10 руб.
Обязательное медстрахование	6005,05 руб.	2086,16 руб.
Взносы на случай временной нетрудоспособности и в связи с материнством	3414,63 руб.	1186,25 руб.
Минимальная ставка по взносам для защиты при наступлении несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний в ФСС.	235,49 руб.	81,81 руб.
<b>Итого</b>	<b>35559,29 руб.</b>	<b>12353,22 руб.</b>

#### **4.5 Накладные расходы**

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов: общехозяйственные расходы, административные, такие как печать и ксерокопирование материалов исследования, пишущие принадлежности, оплата услуг связи, электроэнергии, почтовые и телеграфные расходы, размножение материалов и т.д.

#### **4.6 Расчет работ для определения отклонений от вертикали стенок РВС**

Для того, чтобы провести техническое диагностирование оборудования будет использоваться организация, специализирующаяся на данный вид работы.

Для определения оптимальных экономических затрат на проведение технического диагностирования, проведем анализ всех необходимых видов работ с учетом норм времени и себестоимости на их выполнение, а также произведем расчет стоимости всего комплекса работ двумя методами и проведем сравнительный анализ с целью выбора оптимального варианта.

#### 4.6.1 Первый способ расчета стоимости проведения экспертизы резервуара

Принимаем соотношение стоимости работ по ЭПБ к стоимости работ по ОТС резервуара равным 30%.

Стоимость ЭПБ резервуара определяется в зависимости от усложняющих факторов по формуле:

$$\begin{aligned} C_{\text{эксп.рез}} &= \frac{(C_{\text{ед}} + C_{\text{ед}} \times 30\%)}{k_{\text{общ}}} \times k_{\text{инд}} = \\ &= \frac{(110761,86 + 110761,86 \times 0,3)}{2,04} \times 4,91 = 346565,17 \text{ руб.}, \end{aligned} \quad (4.12)$$

где  $C_{\text{эксп.рез}}$  – стоимость ЭПБ резервуара, руб.;

$C_{\text{ед}}$  – единичная стоимость работ по ОТС резервуара, руб., равна 110761,86 руб.;

$k_{\text{общ}}$  – общий коэффициент [17].

$$\begin{aligned} k_{\text{общ}} &= k_{\text{район}} \times k_{\text{удал}} \times k_{\text{усл.ф}} \times k_{\text{отс.док.}} \times k_{\text{попр}} = \\ &= 1,35 \times 1,1 \times 1,1 \times 1,25 = 2,04, \end{aligned} \quad (4.13)$$

где  $k_{\text{инд}}$  – коэффициент инфляции, согласно Письму Минстроя России от 5.12.2017 N 58300-ОГ/09 во 2 квартале 2022 года равен 4,91.

#### 4.6.2 Второй способ расчета стоимости работ при техническом диагностировании резервуара

Комплекс работ при полном техническом диагностировании включает:

1. Анализ документации;
2. Визуальный и измерительный контроль;
3. Контроль толщины стенок основных элементов неразрушающим методом (ультразвуковая толщинометрия) [19].

Стоимость работы при техническом диагностировании оборудования, сооружений и трубопроводов Ц, руб., определяют по формуле:

$$Ц = C \times K_{\text{ус}} \times K_{\text{тр}} \times K_{\text{рк}} + П, \quad (4.14)$$

где  $C$  – себестоимость работы при техническом диагностировании оборудования, сооружений и трубопроводов;

$K_{р.к.}$  – поправочный коэффициент, зависящий от районного коэффициента к заработной плате. Величины  $K_{р.к.}$  приведены в таблице 12.

$\Pi$  – плановая прибыль, руб.

Таблица 12 - Значение поправочного коэффициента в зависимости от районного коэффициента к заработной плате

<b>Районный коэффициент к заработной плате</b>	<b>Величина поправочного коэффициента</b>
1,1	1,07
1,12	1,09
1,15	1,10
1,2	1,15
1,3	1,20
1,4	1,30
1,5	1,35
1,6	1,40
1,7	1,50
1,8	1,55
2,0	1,70

Себестоимость работы при техническом диагностировании оборудования, сооружений и трубопроводов включает:

- стоимость основных и вспомогательных материалов;
- основную (без учета районного коэффициента) и дополнительную заработную плату специалистов, проводящих диагностирование, в том числе выплаты из фонда материального стимулирования (кроме выплат, осуществляемых из прибыли);
- отчисления из фонда заработной платы;
- стоимость топлива и энергии;
- накладные расходы (на содержание и эксплуатацию оборудования, цеховые расходы, общезаводские расходы и т.д.) без учета транспортных затрат;
- прочие расходы.

При расчете стоимости основных и вспомогательных материалов, топлива, энергии закладывается их обоснованная потребность на выполнение работы при техническом диагностировании и действующие цены на приобретение.

Фонд заработной платы рассчитывают по нормативам времени, установленными в Единых нормах времени в зависимости от перечня планируемых для выполнения работ и часовой тарифной ставки специалистов по техническому диагностированию.

Долю накладных расходов устанавливают относительно затрат на соответствующий вид работ при диагностировании, без учета стоимости расходуемых материалов.

Стоимость комплекса работ при техническом диагностировании оборудования, трубопроводов и сооружений определяют по формуле:

Постоянными величинами при определении стоимости работ по техническому диагностированию оборудования, сооружений и трубопроводов являются нормы времени на выполнение конкретных видов работ, представленных в настоящих Единых нормах времени на 2014 год, которые служат основанием для установления договорной цены.

Расчет

Исходные данные:

- внутренний диаметр обечайки - 34200 мм;
- длина обечайки - 107388 мм;
- толщина стенки обечайки - 5 мм;
- диаметр горловины люка - 500 мм;
- диаметр патрубков – 100; 150; 200; 500 мм;
- количество поясов обечайки –  $n = 12$  шт.;
- количество патрубков –  $m = 9$  шт.;
- общая длина продольных сварных швов  $L = 1000$  м;
- площадь наружной поверхности резервуара  $F = 3120$  м<sup>2</sup>;
- плановая прибыль (П) - 25% от себестоимости работ;

- районный коэффициент к заработной плате – 1,3.

Техническое освидетельствование резервуара производится на расстоянии 30 км от центральной базы производственного обслуживания в летнее время.

1. Анализ документации:

- Ознакомление и анализ проектной документации  $C_1^{a.d.}=1707,13$  руб.;
- Ознакомление и анализ исполнительной документации  $C_2^{a.d.}=1138,09$  руб.;
- Анализ нормативной документации и установление норм оценки технического состояния  $C_3^{a.d.}=260,91$  руб.;
- Анализ условий эксплуатации и технологических режимов работы  $C_4^{a.d.}=521,86$  руб.;
- Анализ ранее проведенных диагностических работ и установление характерных участков  $C_5^{a.d.}=227,6$  руб.;
- Анализ планово-профилактических мероприятий и ремонтных работ  $C_6^{a.d.}=326,14$  руб.;
- Анализ аварий и отказов  $C_7^{a.d.}=512,15$  руб.

Себестоимость работ при анализе документации:

$$C^{a.d.} = \sum C_n^{a.d.} = 1707,13 + 1138,09 + 260,91 + 521,86 + 227,6 + 326,1 + +512,15 = 4693,88 \text{ руб.} \quad (4.15)$$

Визуальный и измерительный контроль:

- визуальный осмотр сварных швов снаружи (100 % осмотр) и измерение размеров выявленных дефектов, себестоимость:

$$C_1^{в.и.} = C_1^A \times L = 12,90 \times 1000 = 12900 \text{ руб.}, \quad (4.16)$$

где  $C_1^A$  – себестоимость 1 м шва;

- визуальный осмотр сварных швов изнутри (100 % осмотр) и измерение выявленных дефектов, себестоимость:

$$C_2^{в.и.} = C_1^A \times L \times K_{yc.} = 12,90 \times 10000 \times 2 = 25800 \text{ руб.} \quad (4.17)$$

- визуальный осмотр основного металла снаружи и измерение выявленных дефектов, себестоимость:

$$C_{3}^{в.и.} = C_{2}^{A} \times F = 12,90 \times 3120 = 40248 \text{ руб.}, \quad (4.18)$$

где  $C_{2}^{A}$  – себестоимость осмотра 1 м<sup>2</sup> основного металла резервуара;

- визуальный осмотр основного металла изнутри и измерение выявленных дефектов, себестоимость:

$$C_{4}^{в.и.} = C_{2}^{A} \times F \times K_{ус.} = 12,90 \times 40248 \times 2 = 80496 \text{ руб.} \quad (4.19)$$

Себестоимость работ при визуальном и измерительном контроле сварных швов и основного металла:

$$C^{в.и.} = \sum C_{n}^{в.и.} = 12900 + 25800 + 40248 + 80496 = 159444 \text{ руб.} \quad (4.20)$$

2. Контроль толщины стенок основных элементов неразрушающим методом (ультразвуковая толщинометрия). В состав работ входит:

- зачистка поверхности под контроль до шероховатости Rz40 зоны 50 мм x 50 мм (12 зон на одно сечение обечайки, по 15 зон на переднем и заднем днище, 9 зон на крышке люка, по 9 зон на патрубках штуцеров), себестоимость:

$$C_{1}^{у.т.} = C^{в.р.} \times N_{зон.} = 16,73 \times (12 \times 30 + 15 \times 2 + 9 + 9 \times 9) = 8030,4 \text{ руб.} \quad (4.21)$$

где  $C^{в.р.}$  – себестоимость зачистки 1 зоны поверхности;

$N_{зон.}$  – количество зон.

- ультразвуковая толщинометрия (традиционным методом с помощью прибора типа УТ-93П), себестоимость:

$$C_{2}^{у.т.} = C^{т.т.} \times N_{з} = 51,56 \times 480 = 24748,8 \text{ руб.}, \quad (4.22)$$

где  $C^{т.т.}$  – себестоимость 1 замера традиционным методом (ультразвуковой толщинометрии);

$N_{з}$  – количество замеров.

Себестоимость работ при контроле толщины стенок основных элементов:

$$C^{у.т.} = \sum C_{n}^{у.т.} = 8030,4 + 24748,8 = 32779,2 \text{ руб.} \quad (4.23)$$

Стоимость комплекса работ при техническом диагностировании резервуара объемом 10000м<sup>3</sup>:

$$\begin{aligned} Ц &= (4693,88 + 159444 + 32779,2) \times 1,1 \times 1,2 \times 1,25 = \\ &= 324915 \text{ руб.} \end{aligned} \quad (4.24)$$

#### 4.7 Формирование бюджета затрат проекта

Рассчитанная величина затрат работы является основой для формирования бюджета затрат проекта.

Таблица 13 - Расходы на проведение научного исследования

Наименование статьи	Сумма, руб.
Техническое диагностирование	324915
Затраты по заработной плате исполнителей	158651
Затраты на покупку программного обеспечения	22931
Страховые взносы	47913
Накладные расходы (15-20%)	110882
Итого:	665292

#### Заключение по данной главе

В данном разделе был произведен расчет стоимости анализа усталостной долговечности резервуара вертикального стального с целью определения необходимости ремонта. В расчет вошли расходы на затраты по заработной плате исполнителей анализа напряженно-деформированного состояния резервуара, затраты на покупку программного обеспечения, накладные расходы, страховые взносы, также был произведен расчет технического диагностирования РВС 10000м<sup>3</sup> двумя методами, стоимость которых вышла 346565,17 руб. для первого и 324915 руб. для второго соответственно. Из предложенных методов в целях экономии следует выбрать менее затратный – второй. Общие расходы составили 665292 руб.

## **5. Социальная ответственность**

Магистерская диссертация посвящена исследованию резервуара вертикального стального 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.

Резервуарный парк расположен на Крайнем Севере в Ханты-Мансийской автономном округе. Район с континентальным климатом, который характеризуется продолжительной суровой зимой и коротким летом.

Рабочий персонал во время работ находится на территории резервуарного парка, контакт рабочего резервуаром производится в основном при периодическом осмотре, при подготовке рабочей зоны, а также при возникающих авариях.

В данном разделе произведен анализ опасных и вредных факторов, возникающих при эксплуатации и обслуживании промышленных нефтепроводов, разработка комплекса мер для безопасного обеспечения работ.

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

В связи со спецификой деятельности работникам резервуарного парка приходится работать на значительном удалении от места нахождения своей компании. Вахтовая работа в силу существенных отличий от «обычной» трудовой деятельности работника регулируется отдельным законодательством.

Особенностям регулирования труда лиц, работающих вахтовым мет дом, посвящена глава 47 ТК РФ. [20]

Понятие вахтового метода приведено в ст.297 ТК РФ, а основные положения о вахтовом методе организации работ утверждены Постановлением Госкомтруда СССР, Секретариата ВЦСПС и Минздрава СССР от 31.12.1987 г. №794/33-82 (далее по тексту – Положение о вахте) и действуют в части, не противоречащей ТК РФ (ст.423 ТК РФ). Вахтой считается общий период,

включающий время выполнения работ на объекте и время междуменного отдыха (ст.299 ТК РФ) [21].

Основной профессией, обслуживающей резервуарные парки, является оператор товарный. В обязанности оператора входит управление технологическим процессом с пульта управления из помещений операторных, что составляет 50% времени рабочей смены, визуальное наблюдение за работой оборудования насосных и транспортных коммуникаций, обход резервуарного парка – 44% рабочего времени. Кроме того, операторы обеспечивают предварительную подготовку оборудования к капитальному ремонту. 6% времени рабочие занимаются личными делами. Размер оклада будет зависеть от сезона года и климатогеографических особенностей региона, так же оклад зависит от разряда оператора. Уровень зарплаты варьируется от 55000 тысяч до 90000 тысяч рублей.

Вместе с тем отдельные нормативные акты содержат положения о размере доплат за работу во вредных условиях труда. Так, постановлением Министерства труда РФ от 25 апреля 1995 года № 25 рекомендовано при оплате труда работников организации внебюджетной сферы экономики тарифные ставки (оклады) на работах с тяжелыми и вредными условиями труда увеличивать по сравнению с тарифными ставками (окладами) для аналогичных работ с нормальными условиями труда на 12%, а на работах с особо тяжелыми и особо вредными условиями труда — на 24%.

В области охраны труда и безопасности жизнедеятельности трудовую деятельность регламентируют следующие правовые, нормативные акты, инструктивные акты в области охраны труда и отраслевые документы [22]:

– 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 25.07.1995г.

### **Компоновка рабочей зоны**

Рабочее место - это зона пространства, оснащенная необходимым оборудованием, где происходит трудовая деятельность одного работника или группы работников. От организации рабочего места во многом зависит эффективность работы, в следствии чего достигаются и улучшаются результаты поставленных целей. Рациональная планировка рабочего места должна обеспечивать: наилучшее размещение орудий и предметов труда, не допускать общего дискомфорта, уменьшать утомляемость работника

Персонал в рабочей зоне должен иметь все необходимые приспособления для выполнения своих обязанностей.

Подготовка рабочего места – выполнение до начала работ технических мероприятий для предотвращения воздействия на работающих опасных производственных факторов на рабочем месте.

Подготовка рабочего места и допуск к работе осуществляется только после получения разрешения от оперативного персонала, в управлении и ведении которого находится оборудование. Ответственный руководитель перед

допуском к работе должен выяснить, какие меры безопасности приняты при подготовке рабочего места, и проверить подготовку рабочего места личным осмотром в пределах рабочего места. Началу работ должен предшествовать целевой инструктаж. Наблюдающий инструктирует о мерах по безопасному ведению работ и о порядке перемещения по территории. [7]

На территории резервуарного парка персонал в основном находится в операторной, где в положении сидя следит за показаниями в мониторе компьютера. В связи с этим, работодатель должен обеспечить обстановку, соответствующей следующим документам:

- Типовая инструкция ТОИ Р-45-084-01;
- СанПиН 2.2.2. / 2.4. 1340-03 (далее – СанПиН);
- Трудовой кодекс РФ;

Общие правила работы за ПК:

- в помещении с компьютерами рекомендовано, чтобы окна выходили на север или северо-восток;
- если в офисе отсутствует естественный солнечный свет, должно быть организовано искусственное освещение в соответствии с нормами и правилами освещенности рабочих мест;
- если мониторы расположены в ряд, люминесцентные лампы следует исполнять в виде сплошных или прерывистых линий;
- при расположении ПК по периметру, источники освещения должны находиться непосредственно над рабочим столом. [32]

Оснащение рабочего места, предусматривающую работу за ПК должно соответствовать требованиям, представленным на таблице 14.

Таблица 14 - Оснащение рабочего места при работе за ПК [18]

Высота перегородок, разделяющих рабочие места	Не менее 1,5 метров
Ширина рабочего стола	От 80 до 140 см
Глубина рабочего стола	От 80 до 100 см
Высота рабочего стола	7,25 см
Расстояние от глаз до монитора	От 60 до 70 см
Расстояние клавиатуры от края стола	От 10 до 30 см
Сидение	Должно позволять регулировку по высоте, повороту и углу наклона спинки (регулировки должны быть независимыми друг от друга)
Подставка для ног	Ширина — от 30 см, глубина – от 40 см, с углом наклона до 20 градусов

Схема правильной посадки при работе за компьютером представлена на рисунке 15:

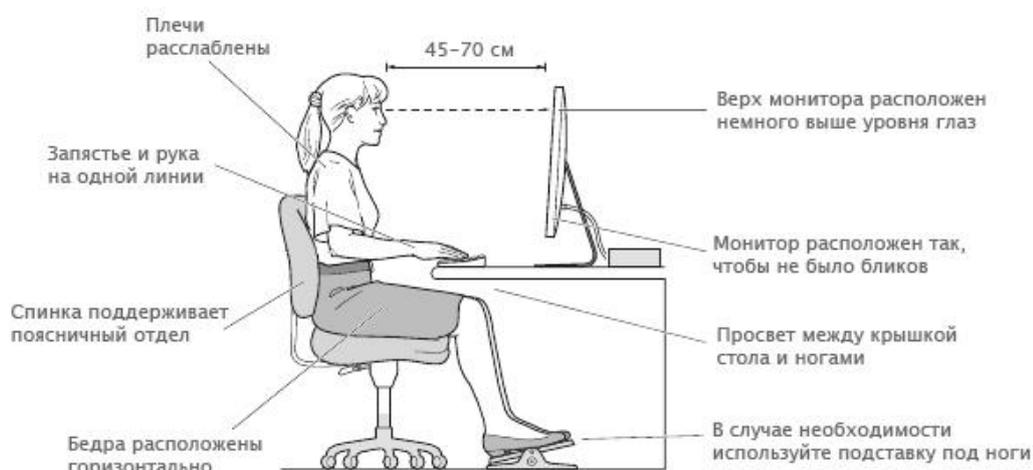


Рисунок 15 – Схема правильной посадки при работе за ПК [33]

Во время осмотра территории, в качестве рабочей зоны выступает вся территория, для удобства персонала, делающего обход, следует обеспечить маршрут информационными знаками и легкопроходимой дорогой.

## 5.2. Производственная безопасность

### Анализ вредных факторов при эксплуатации

В данном пункте проанализированы опасные и вредные факторы, с которыми работники могут столкнуться при выполнении своих трудовых обязанностей. Перечень факторов представлен в таблице 15.

Таблица 15 – Вредные и опасные факторы [3]

Факторы (согласно ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ			Нормативные документы
	Разработка	Изготовление	Эксплуатация	
1.Климатические условия	+	+	+	ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ ГОСТ 12.1.019-2017 ГОСТ 12.1.046-2014 МР 2.2.7.2129-06 ГОСТ 12.4.011-89 ССБТ СП 3.1.3.2352-08
2.Повышенный уровень шума.	+	+	+	
3.Повышенный уровень вибрации	+	+	+	
4.Поражение электрическим током	+	+	+	
5.Механические опасности	+	+	+	
6.Взрывоопасность и пожароопасность	+	+	+	

## **Климатические условия**

В зимнее время работа персонала отличается от летнего. С понижением температуры окружающего воздуха до отрицательных величин (под отрицательными величинами подразумевается значение температуры, которое неблагоприятно действует на рабочий персонал и на оборудование. Для каждого оборудования температура, при которой эксплуатация невозможна разная, к примеру эксплуатация стальной запорной арматуры только до минус 60°С) устанавливается порядок осмотра аппаратов, трубопроводов обслуживающим персоналом в зависимости от температуры окружающей среды с записью в режимном листе контроля работы устройств, где фиксируется температура окружающей среды, температура в трубопроводе или аппарате, работа теплоспутника.

При воздействии на организм человека отрицательных температур наблюдается сужение сосудов пальцев рук и ног, кожи лица, изменяется обмен веществ. Низкие температуры воздействуют также и на внутренние органы, и длительное воздействие этих температур приводит к их устойчивым заболеваниям [23].

Обслуживающему персоналу по графику проверять состояние обогрева дренажных устройств, застойных зон участков трубопроводов с записью в вахтовом журнале результатов осмотра, осмотр их инженерно-техническими работниками объекта производить по специальному графику, утвержденному начальником цеха по переработке газа.

При выявлении случаев переохлаждения металла в резервуарной парке, необходимо произвести наружный осмотр участка трубопровода с целью установления приблизительной границы замораживания, затем принять меры к отключению их от действующих коммуникаций так, чтобы не создавались искусственные тупики и принять меры к разогреву отключенного участка трубопровода в соответствии с изложенными выше требованиями. [30]

Работникам, работающим в холодное время года на открытом воздухе, предоставляются специальные перерывы для обогрева и отдыха; средства

для обогрева предоставляются на месте работ или в непосредственной близости от места работы. [31]

### **Повышенный уровень шума**

Производственный процесс на территории парка сопровождается значительным шумом, неблагоприятно действующий на персонал. Шум может повредить органы слуха и нервную систему рабочего.

Допустимый уровень шума на рабочем месте не должен превышать 80 дБ. Колебание более низкой частоты (меньше 16 Гц - инфразвук) и более высокой частоты (выше 20000 Гц - ультразвук) воспринимаются человеком не как звук, а как вибрация (сотрясения).

Таблица 16 – Предельно допустимые уровни звукового давления [24]

Вид трудовой деятельности, рабочее место	Уровни звукового давления (дБ) в октавных полосах с частотами, Гц									Уровни звука и эквивалентные уровни звука (дБА)
	1,5	3	125	50	500	1000	2000	4000	8000	
Выполнение работ в производственных помещениях и на территории предприятий	107	95	87	82	78	75	73	71	69	80

В соответствии со статьей 221 «Трудового кодекса РФ» работникам, занятым на работах с вредными и опасными условиями труда, выдается бесплатно сертифицированная специальная одежда, специальная обувь и другие средства индивидуальной защиты в соответствии с нормами, утвержденными в порядке, определенном Правительством Российской Федерации.

В качестве защиты от шума применяются такие средства индивидуальной защиты как наушники, противозумовые вкладыши (беруши).

## Повышенный уровень вибрации

Систематическое воздействие вибрации может привести к вибрационной болезни, которая характеризуется нарушениями физиологических функций организма, связанными с поражением центральной нервной системы. Эти нарушения вызывают головные боли, головокружения, нарушения сна, снижение работоспособности, ухудшение самочувствия, нарушения деятельности.

Вибрационное воздействие (см. таблицу 17) на рабочих местах нормируется по ГОСТ 12.1.012-90. Позволяет оценить опасность воздействия вибрации на рабочих.

Таблица 17 – Предельно-допустимые уровни вибростойкости [25]

Вид вибрации		Логарифмические уровни вибростойкости (дБ) в октавных полосах, Гц					
Технологическая, на постоянных рабочих местах	в производственных помещениях	2	4	8	16	31,5	63
	в машинно-котельных помещениях	108	99	93	92	92	0,2

Использование ручного инструмента с виброзащитными рукоятками, специальной обуви и перчаток.

Производственные операции должны распределяться между работниками так, чтобы продолжительность непрерывного воздействия вибрации, включая микропаузы, не превышала 15 — 20 мин.

## Поражение электрическим током

Поражение электрическим током – это причина контакта с электроцепью источников напряжения или тока, способных, по попавшей под напряжение части тела, вызвать протекание тока. [27]

Поражение человека электрическим током может произойти при:

- прикосновении к токоведущим частям, находящимся под напряжением;
- прикосновении к отключенным токоведущим частям, на которых остался

заряд;

- при нахождении человека в зоне растекания тока на землю (попадание под «шаговое напряжение»);

- приближении к частям, находящимся под напряжением, на недопустимо малое расстояние.

Основной защитой от поражения электрическим током является заземление. Изоляция токоведущих частей, ограждающие устройства, предупредительная сигнализация, средства защиты и предохранительные устройства. Проверка заземления должна проводиться рабочим персоналом регулярно [29].

### **Механические опасности**

Во время работы персоналу часто приходится иметь дело с подвижными механизмами и машинами. Движущиеся оборудования, к примеру, такое как маховик задвижки, кран-балка, представляют опасность травмирования рабочего в виде ушибов, порезов, переломов и др., которые могут привести к потере трудоспособности.

В соответствии с ГОСТ 12.2.003-91 «ССБТ. Оборудование производственное. Общие требования безопасности» движущие части производственного оборудования, если они являются источником опасности, должны быть ограждены, за исключением частей, ограждение которых не допускается функциональным их назначением. [26]

Для исключения получения травм требуется регулярная проверка состояния оборудования и проведение инструктажей персоналу по технике безопасности. Также персонал должен иметь средство индивидуальной защиты в виде спецодежды, каски, специальной обуви, перчаток, очков.

### **Взрывоопасность и пожароопасность**

В технологическом процессе веществами, представляющими опасность с точки зрения взрывопожароопасности и вредного воздействия на организм человека, являются углеводороды парафинового ряда С1 – С9, триэтиленгликоль, метанол, масло компрессорное, антивспениватель, гидроксид натрия (регулятор рН).

Удельный вес углеводородов, начиная с пропана, превышает удельный вес воздуха, что создает дополнительную опасность скопления газов в помещениях.

Нижний предел взрываемости продуктов, в состав которых входят приведенные выше углеводороды, является основной характеристикой производства по взрывоопасности, что свидетельствует о возможности быстрого образования взрывоопасных концентраций в случае наличия неплотностей в аппаратуре и коммуникациях.

Основными поражающими факторами аварии являются:

- тепловая нагрузка для горения пролива;
- ударная волна взрыва;
- летящие предметы, осколки, обломки для взрыва при разрушении оборудования, обрушении зданий и сооружений.

Методы обеспечения пожаробезопасности подразумевают под собой создание соответствующего противопожарного режима, в котором должны быть установлены: порядок утилизации горючих отходов; места хранения промасленной спецодежды; порядок отключения от питания электрооборудования в случае пожара; последовательность проведения пожароопасных работ, действия и обязанности работников при возникновении пожара. [28]

### **5.3. Экологическая безопасность**

#### **Загрязнение атмосферы**

При эксплуатации оборудования в атмосферу выделяются постоянные выбросы, а также аварийные сбросы при выходе из строя оборудования и трубопроводов. Выбросы загрязняющих веществ в виде углеводородов (метан, этан и т.д.) и их производных, кислых компонентов в виде оксидов углерода, серы и азота при рабочем режиме эксплуатации оборудования будут постоянные и залповые:

- продуктов сгорания газа в двигателях;

- углеводородов от не плотностей оборудования, расположенного открыто на технологической площадке;
- углеводородов от оборудования, расположенного в зданиях, через воздухопроводы и дефлекторы;
- вредных веществ через вентиляционные трубы, дыхательные клапаны ёмкостей;
- при сжигании топлива в котельной через дымовую трубу;
- при заполнении емкостей через воздушники.

С целью уменьшения загрязнения атмосферного воздуха предусмотрены технические решения, позволяющие свести до минимума вредное воздействие на атмосферный воздух:

- Постоянный мониторинг воздушной обстановки в резервуарных парках, а также в замкнутых газоопасных помещениях;
- Автоматическое определение превышения ПДК загрязняющих веществ в рабочей зоне датчиками и оповещение рабочего персонала;
- Возможность автоматического проветривания замкнутых помещений при превышении ПДК. [9]

При хранении нефтепродуктов в резервуаре образовывается газоздушная смесь, которая через дыхательные клапаны выходит в атмосферу, это называется «большие дыхания» резервуара.

Исходные данные:

- Диаметр резервуара: 34,2 м;
- Высота резервуара: 12 м;
- Высота корпуса крыши: 0,85;
- Газовая постоянная: 8314,3;
- Температура нефтепродукта: 293К;
- Первоначальная высота разлива: 1 м;
- Высота разлива после закачки нефтепродукта: 11,2 м;
- Производительность закачки: 3000м<sup>3</sup>/ч

- Месяц: Июль.

Находим абсолютное давление в газовом пространстве в начале закачки:

$P_1 = P_a = 101325$  Па – в начале закачки днем.

По графику для определения плотности нефтяных паров находим плотность паров нефтепродукта  $\rho$ , кг/м<sup>3</sup> или по формуле:

$$\rho = \frac{P_1 * M}{T * R} = \frac{101325 * 58,609}{293 * 8314,3} = 2,438 \text{ кг/м}^3, \quad (5.1)$$

где  $T$  – температура нефтепродукта;

$R$  – газовая постоянная;

$M$  – молярная масса.

Находим величину газового пространства перед закачкой нефти:

$$H_{1Г} = H_p - H_{взл} + \frac{H_k}{3} = 12 - 1 + \frac{0,85}{3} = 10,716 \text{ м}, \quad (5.2)$$

где  $H_p$  – высота резервуара;

$H_{взл}$  – высота вслива;

$H_k$  – высота корпуса крыши.

Определяем объем газового пространства перед закачкой нефти:

$$V_{Г} = H_{1Г} \times \frac{\pi D^2}{4} = 10,716 \times \frac{3,14 * 34,2^2}{4} = 9850,59 \text{ м}^3, \quad (5.3)$$

где  $D$  – диаметр резервуара;

Величину газового пространства после закачки нефти:

$$H_{2Г} = H_p - H_{взл2} + \frac{H_k}{3} = 12 - 11,2 + \frac{0,85}{3} = 1,08 \text{ м}, \quad (5.4)$$

где  $H_{взл2}$  – высота вслива после закачки нефти.

Объем закачиваемой нефти:

$$V_H = (H_{1Г} - H_{2Г}) \frac{\pi D^2}{4} = (10,716 - 1,08) \frac{3,14 * 34,2^2}{4} = 8847,46 \text{ м}^3 \quad (5.5)$$

Время закачки:

$$\tau_3 = \frac{V_H}{Q} = \frac{8847,46}{3000} = 2,95 \text{ ч}, \quad (5.6)$$

где  $Q$  – производительность закачки.

Найдем общее время:

$$\tau = \tau_{ПР} + \tau_3 = 4 + 2,95 = 6,95 \text{ ч} \quad (5.7)$$

$\tau_{ПР} = 4$  ч - время простоя резервуара.

Находим скорость выхода газовой смеси через дыхательные клапаны:

$$V_B = \frac{4Q}{n \times \pi \times D^2} = \frac{4 \times 3000}{8 \times 3,14 \times 34,2^2} = 0,408 \text{ м/с}, \quad (5.8)$$

где  $Q$  – производительность закачки нефти;

$D$  – диаметр резервуара;

$n$  – число дыхательных клапанов.

Находим  $\Delta C_1 = 0,15$  при  $\tau = 6,95$  по графику для определения температурного напора.

Определяем

Находим среднюю относительную концентрацию в газовом пространстве

$$\frac{\Delta C}{C_s} = \frac{H_{2r}}{H_{1r}} + \Delta C_1 + \Delta C_2 = \frac{1,08}{10,716} + 0,15 + 0,0377 = 0,3 \quad (5.9)$$

Находим среднее парциальное давление паров нефти:

$$P_v = \frac{\Delta C}{C_s} * P_s = 0,3 \times 19 \times 10^3 = 5700 \text{ Па} \quad (5.10)$$

$P_s$  – давление насыщенных паров нефтепродукта.

Потери нефти от одного «большого дыхания»:

$$G_{б.д} = [Q_3 - V_r \left( \frac{P_2 - P_1}{P_2 - P_y} \right)] \times \frac{P_y}{P_2} \times \rho, \quad (5.11)$$

где  $Q_3$  – объем закачиваемой в резервуар нефти,  $\text{м}^3$ ;

$$Q_3 = 2,95 \times 3000 = 8850 \text{ м}^3;$$

$V_r$  – объем газового пространства резервуара перед закачкой нефти,  $\text{м}^3$ ;

$P_2$  – абсолютное давление в газовом пространстве в конце закачки;

$$P_2 = P_1 + P_{к.у},$$

где  $P_1 = P_{атм}$ ;

$P_{к.у}$  – нагрузка дыхательных клапанов

$$P_2 = 101325 + 2300 = 103625 \text{ Па};$$

$P_y$  – среднее парциальное давление паров нефтепродукта = 11742 Па;

$\rho$  – плотность паров нефти = 2,438  $\text{кг/м}^3$ .

$$G_{б.д} = \left[ 8850 - 9850,59 \left( \frac{103625 - 101325}{101625 - 11742} \right) \right] \times \frac{11742}{102625} \times 2,438 = 924,84 \text{ кг}.$$

## **Загрязнение гидросферы**

Объекты на резервуарных парках х представляют потенциальную угрозу загрязнения поверхностных вод, поэтому должны быть разработаны план мероприятий и инструкции по предотвращению аварий на этих объектах.

Мероприятия, проводимые для защиты гидросферы от загрязнения, включают:

- система сбора и подготовки нефти полностью герметизирована;
- сварные стыки участков трубопроводов всех категорий подлежат 100% контролю физическими методами. После полной готовности участка или всего трубопровода производится испытание его на прочность и проверка на герметичность;
- своевременное предотвращение утечек через неплотные фланцевые соединения в водяных линиях;
- обеспечение полной утилизации промышленной сточной воды, сброс промывочных стоков и других объектов в коллектор или в специальные дренажные ёмкости;
- постоянная проверка состояния обвалования вокруг эксплуатационных и нагнетательных скважин;
- осуществление сбора разлитой при эксплуатации и капитальном ремонте скважин в коллектор или закрытую ёмкость.

## **Загрязнение литосферы**

При разработке и эксплуатации месторождений, на земельный покров оказывается очень большое механическое, физическое и химическое влияние.

Деградация почв происходит как от прямого попадания нефти на нее, так и от косвенного влияния на почвенные условия. Мероприятия, направленные на восстановление почв, должны создавать условия для самовосстановления литосферного слоя.

Для этого необходимо еще при проектировании учесть негативное влияние на окружающую среду, применять современные технологии при строительстве нефтегазовых сооружений и минимизировать их количество. объекты должны

располагаться строго в пределах лицензионной территории вне природоохранных зон.

Современные технологии мониторинга должны быть направлены в первую очередь на предотвращения разлива нефти, а также на быстрое устранение аварийных ситуаций

#### **5.4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях**

Во время работы в результате как технических, так и организационных ошибок возникают аварии, на территории резервуарного парка встречаются такие чрезвычайные ситуации как:

- аварии в результате разгерметизации (порыв/прокол) оборудования, нефтесборных трубопроводов, выкидных линий;
- аварии в результате выхода из строя автоматизированного оборудования, в связи с повреждением кабеля линии электропередач.
- аварии в результате ошибок персонала;
- аварии в результате стихийных бедствий;
- возникновение пожара.

Действия персонала во время ЧС должны соответствовать требованиям регламента и другим принятым документам.

Наиболее вероятной ЧС на территории парка, является разлив нефтепродуктов.

Для ликвидации аварии необходимо остановить скважину, на которой произошла авария, и вывести коллектор из работы. Сбросить избыточное давление из коллектора не дренажную ёмкость.

Для ликвидации последствий разлива необходимо «накрыть» пятно разлива пенными составами для снижения загазованности территории. Далее сделать приямки для сбора нефтепродуктов и собирать нефтепродукты с приямков при помощи специальной техники (АКН). Затем собрать грунт с остатками нефтепродуктов и вывезти в шламовый накопитель. Место разлива засыпать свежим грунтом.

Для ликвидации последствий аварий на предприятии разрабатывается план ликвидации аварии (ПЛА) для всех объектов нефтегазового промысла.

### **Вывод по главе**

В данном разделе были рассмотрены вопросы соблюдения прав персонала на труд с учётом требований законодательства РФ, выполнения требований к безопасности и гигиене труда, к промышленной безопасности, охране окружающей среды и ресурсосбережению. Также рассмотрели проектные решения, исключающие несчастные случаи в производстве, и снижение вредных воздействий на окружающую среду.

## **Заключение**

В ходе данной магистерской диссертации был проведен анализ нормативной и научно-технической литературы для определения наиболее применяемых методик по анализу усталостной долговечности. Анализ позволил выявить минус аналитического метода оценки усталостной долговечности, в результате чего был обоснован и выбран способ оценки усталостной долговечности методом конечных элементов в программном комплексе Ansys.

Была построена параметрическая конечно-элементная модель резервуара с учетом измеренных отклонений геометрии от вертикали операциями, описанными в главе 3.

Проведен анализ напряженно-деформированного состояния стенки резервуара и определено влияние отклонения геометрии стенки на остаточный ресурс. Было выявлено, что при учете только такого фактора как отклонение геометрии стенки за пределы допуска, значение которых регламентировано согласно СП 70.13330.2012 влияет на остаточный ресурс резервуара порядка на 17% относительно остаточного ресурса резервуара, не имеющего отклонений по вертикали.

Результаты, полученные в ходе диссертации позволяют повысить качество технической диагностики резервуара путем учета результатов инструментального контроля геометрических отклонений при расчетном анализе остаточного ресурса, что существенно помогает определению остаточного ресурса резервуара, находящегося в рабочем состоянии без его вывода из эксплуатации.

На основе всего вышеперечисленного сформирована рекомендация по учету фактической геометрии: для определения остаточного ресурса, имея результаты инструментального контроля следует проводить анализ напряженно-деформированного состояния согласно данной магистерской диссертации. Данная рекомендация поможет выявить, что резервуар, признанный аварийным, согласно нормативным документам, может оказаться пригодным для дальнейшей эксплуатации.

## Список литературы

1. Руководство по безопасности "Рекомендации по техническому диагностированию сварных вертикальных цилиндрических резервуаров для нефти и нефтепродуктов"
2. СА 03-008-08 «Резервуары вертикальные стальные сварные для нефти и нефтепродуктов. Техническое диагностирование и анализ безопасности».
3. ГОСТ 31385-2008 Резервуары вертикальные цилиндрические стальные для нефти и нефтепродуктов. Общие технические условия
4. РД 153-112-017-97 Инструкция по диагностике и оценке остаточного ресурса вертикальных стальных резервуаров
5. РД 08–95–95 Положение о системе технического диагностирования сварных вертикальных цилиндрических резервуаров для нефти и нефтепродуктов
6. Бате, К. Численные методы анализа и метод конечных элементов / К. Бате, Е. Вилсон; пер. с англ. – Москва: Стройиздат, 1982. – 448 с.
7. Зенкевич, О. Метод Конечных Элементов В Технике / О. Зенкевич; пер. с англ. – Москва: Мир, 1975. – 543с.
8. Инженерный анализ в Ansys Workbench: Учебник / В. А. Бруяка, В. Г. Фокин, Е.А. Солдусова [и др.]. – Самара: Самгту, 2010. – 271 с.
9. Лаевский, Ю. М. Метод конечных элементов (Основы теории, задачи) / Ю. М. Лаевский. – Новосибирск: Новосибирский государственный университет, 1999. – 166 с.
10. Сафарян, М. К. Основные положения расчета цилиндрических и сферических оболочек на устойчивость (применительно к резервуаростроению) / М. К. Сафарян. – монтажные работы в строительстве. – 1967. – № 2. – с 20-33.
11. Коробков, Г. Е. Численное моделирование напряженно-деформированного состояния и устойчивости трубопроводов и резервуаров в осложненных условиях эксплуатации / Г. Е. Коробков, Р. М. Зарипов, И. А. Шаммазов. – Санкт-Петербург: Недра, 2009. – 410 с.

12. Розин, Л. А. Метод конечных элементов в применение к упругим системам / Л. А. Розин. – Москва: Стройиздат, 1977. – 130 с.
13. СП 70.13330.2012 Несущие и ограждающие конструкции.
14. Андреев А.Ф. и др. Организация и Управление предприятиями нефтяной и газовой промышленности: Учебное пособие / Под ред. Е.С. Сыромятникова. – М.: Нефть и газ, 1997 – Ч. 1. – 144 с., М.: Нефть и газ, 1999 – Ч. 2. – 139 с.
15. Налоговый кодекс Российской Федерации ФЗ №67 от 24.07.2009 в ред. от 26.03.2022
16. Методика определения стоимости проведения экспертизы промышленной безопасности зданий, сооружений и технических устройств
17. Ст. 425 НК РФ и закона «О тарифах на ОСС от НС и ПЗ» от 22.12.2005 № 179-ФЗ [Электронный ресурс] URL: [https://nalog-nalog.ru/strahovye\\_vnosy/tarify\\_razmer\\_strahovyh\\_vnosov/iz\\_chego\\_skladyvayutsya\\_302\\_strahovyh\\_vnosov/](https://nalog-nalog.ru/strahovye_vnosy/tarify_razmer_strahovyh_vnosov/iz_chego_skladyvayutsya_302_strahovyh_vnosov/)
18. Единые нормы времени и расценки на техническое диагностирование оборудования, сооружений и трубопроводов. Дата актуализации 01.01.2021.
19. "Трудовой кодекс Российской Федерации" от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 24.04.2020) Глава 47. Особенности регулирования труда лиц, работающих вахтовым методом. [Электронный ресурс] URL: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_34683/b28df2870d3c3b2aeb65f905c59c7ddc1b139dd0/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_34683/b28df2870d3c3b2aeb65f905c59c7ddc1b139dd0/)
20. "Трудовой кодекс Российской Федерации" от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 24.04.2020) Глава 50. Особенности регулирования труда лиц, работающих в районах крайнего севера и приравненных к ним местностях. [Электронный ресурс] URL: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_34683/b739014a99ff134c5dc56d924e34695af0b59ab4/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_34683/b739014a99ff134c5dc56d924e34695af0b59ab4/)
21. "Трудовой кодекс Российской Федерации" от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 24.04.2020) Статья 215. Соответствие производственных объектов и

продукции государственным нормативным требованиям охраны труда.  
[Электронный ресурс] URL: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_34683/34b19e0ed6f5051c2c22c24f05a7662b469b389b/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_34683/34b19e0ed6f5051c2c22c24f05a7662b469b389b/)

22. Влияние низкой температуры на организм человека.  
[Электронный ресурс] URL: [https://studwood.ru/1987003/bzhd/vliyanie\\_nizkoy\\_temperatury\\_organizm\\_cheloveka](https://studwood.ru/1987003/bzhd/vliyanie_nizkoy_temperatury_organizm_cheloveka)

23. ГОСТ 12.1.003-83 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Шум. Общие требования безопасности (с Изменением N1). [Электронный ресурс] URL: <http://docs.cntd.ru/document/5200291>

24. ГОСТ 12.1.012-90 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Вибрационная безопасность. Общие требования. [Электронный ресурс] URL: <http://docs.cntd.ru/document/5200329>

25. ГОСТ 12.2.003-91 «ССБТ. Оборудование производственное. Общие требования безопасности». [Электронный ресурс] URL: <http://docs.cntd.ru/document/901702428>

26. ГОСТ 12.1.030-81 ССБТ «Электробезопасность». [Электронный ресурс] URL: <http://docs.cntd.ru/document/5200289>

27. ГОСТ 12.0.003-2015 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Опасные и вредные производственные факторы. Классификация. [Электронный ресурс] URL: <http://docs.cntd.ru/document/120013607>

28. ГОСТ 12.1.019-2017 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты. [Электронный ресурс] URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200161238>

29. МР 2.2.7.2129-06 «Режимы труда и отдыха работающих в холодное время на открытой территории или в неотапливаемых помещениях» [Электронный ресурс] URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200047514>

30. ГОСТ 12.4.011-89 ССБТ. «Средства защиты работающих. Общие требования и классификация» [Электронный ресурс] URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200000277>

31. Нормативы и правила охраны труда при работе за компьютером [Электронный ресурс] URL: <http://kadriuem.ru/ohrana-truda-pri-rabote-za-kompjuterom/>
32. «ТОИ Р-45-084-01. Типовая инструкция по охране труда при работе на персональном компьютере» (утв. Приказом Минсвязи РФ от 02.07.2001 N 162). [Электронный ресурс] URL: <https://legalacts.ru/doc/toi-r-45-084-01-tipovaja-instruktsija-po-okhrane-truda/#100058>
33. Grushenkova Olesya Anatolyevna. Stress-strain state of reservoirs of local heterogeneity of the soil base: dis. ...Ph.D. 25.00.19: protected 10.02.20: approved 21.06.20
34. RD 153-112-017-97 "Instructions for the diagnosis and evaluation of the residual life of vertical steel tanks".
35. RD 08-95-95 "Regulations on the system of technical diagnostics of welded vertical cylindrical tanks for oil and petroleum products".
36. Analysis of the residual life of a steel vertical tank of the RVS10,000 m<sup>3</sup> type [Electronic resource]. – [Access mode: http://earchive.tpu.ru/bitstream/11683/60380/1/TPU920235.pdf](http://earchive.tpu.ru/bitstream/11683/60380/1/TPU920235.pdf)
37. Loads acting on the reservoir [Electronic resource]. – [Access mode: https://studopedia.ru/14\\_46536\\_nagruzki-deystvuyushchie-na-rezervuar.html](https://studopedia.ru/14_46536_nagruzki-deystvuyushchie-na-rezervuar.html)
38. Tafarov R.H., Sharafiev RG, Rizvanov RG A brief handbook of a mechanical engineer Basic formulas and reference data on strength calculations. — Ufa: USNTU Publishing House. 1995 - ISBN 5-230-19001-9.

## Приложение А

### Analysis of the stress-strain state and evaluation of the fatigue life of the reservoir

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2БМ05	Винокуров Михаил Алексеевич		

Руководитель ВКР от школы отделения (НОЦ) (ИШПР, нефтегазовое дело) \_\_\_\_\_ :

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОНД	Зиякаев Г.Р.	к.т.н		

Консультант – лингвист отделения (НОЦ) школы ШБИП:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОИЯ	Матвеев И.А.	д.ф.н.		

## **Introduction**

Currently, more than 70% of the operating equipment in Russia has exhausted its life (the service life is 30-35 years). It is known that accidents and failures occur in the initial period of operation due to installation defects, followed by a period of trouble-free operation, and after 15-20 years of operation, the number of failures and emergencies increases sharply due to the accumulation of damage that occurred during operation. One of the most dangerous objects has been and remains various types of reservoirs. In the pipeline transport system, for example, more than 3,000 RVS have been in operation for more than 50 years, more than 1,000 RVS - from 40 to 50 years. Cost-effective operation of the reservoir cannot be ensured without proper monitoring of the technical condition and timely troubleshooting. Violation of strength and tightness in reservoirs in most cases is caused by a combination of various adverse effects on structures. Practically each of the reservoirs is an object of increased danger to the personnel of the enterprise, the population, neighboring structures and the environment.

In connection with the goal the following tasks are set.

The purpose of this master's thesis is to improve the quality of technical diagnostics of tanks by taking into account the results of instrumental control of geometric deviations in the calculated analysis of the residual resource of the tank

To achieve this goal, the following tasks were set:

1. To analyze the normative and scientific and technical literature to determine the most applicable methods for analyzing the fatigue life of steel tanks.
2. To construct a parametric finite element model of the RVS taking into account the measured deviations of the geometry from the vertical,
3. To analyze the stress-strain states of the tank wall and determine the effect of deviations in the geometry of the wall on the residual resource
4. Formulate recommendations for taking into account the actual geometry of the tank wall when analyzing its fatigue life.

## **Theoretical information**

### Definition and classification

Reservoir Vertical steel (RVS) is a vertical tank, a ground—based volumetric construction structure designed for receiving, storing, preparing, accounting (quantitative and qualitative) and dispensing liquid products.

RVS are manufactured with an internal volume of 100-120000 m<sup>3</sup>, if necessary, they are combined into a group of reservoirs concentrated in one place — a "reservoir farm", which includes: reservoirs, technological pipelines, pumping equipment, quality control of commercial products, a metering unit for shipped products, fire extinguishing and environmental protection equipment

Depending on the volume of the stored product according to GOST R 52910-2008, the reservoirs are divided into four hazard classes [39]:

- Class I - reservoirs with a volume of more than 50,00 m<sup>3</sup>;
- Class II - reservoirs with a volume from 20000 inclusive to 50000 m<sup>3</sup> inclusive, as well as reservoirs with a volume from 10000 to 50000 m<sup>3</sup> inclusive, located directly along the banks of rivers, large reservoirs and within urban development;
- Class III - reservoirs with a volume of 1000 and less than 20000 m<sup>3</sup>;
- Class IV - reservoirs with a volume of less than 1000 m<sup>3</sup>.

According to the design features, vertical cylindrical reservoirs are divided into the following types:

- reservoir with fixed roof without pontoon;
- reservoir with fixed roof with pontoon;
- reservoir with floating roof;
- a reservoir with a protective wall.

### The principle of operation of reservoirs

For reservoirs used in the oil and gas industry and investigated in this paper, the principle of operation is as follows:

The oil in the reservoirs is stored under a nitrogen cushion with overpressure with further direction of vapors to the supercharger of trapped vapors.

The pressure control and regulation in each reservoir is carried out by an automatic control system, the control valves of which are installed on the nitrogen supply line and the valves are installed on the vapor discharge line. The control valves located on the nitrogen supply line to the reservoirs are configured to open at a certain pressure, thereby preventing the occurrence of discharged pressure when cooling or pumping the contents out of the reservoir. The control valve on the vapor discharge line to the vapor capture system is configured to open in such a way as to prevent exceeding the design pressure of the reservoir when filling the reservoir or when the contents of the reservoir expand at temperature. Initially, until the vapor capture system is switched on, the pressure in the reservoirs is maintained by valves in automatic mode with a task to open the nitrogen supply with excess pressure relief through the breathing valves. The control valves are equipped with interlocking shut-off valves so that only one of the two valves can be in operation.

If or when the pressure in the reservoir increases, a warning alarm is triggered. In case of an increase in pressure above the set one, a lock is triggered to close the valve at the oil inlet to the reservoir and the valve for nitrogen supply. When the pressure decreases, a lock is triggered to close the valve of the vapor outlet from the reservoir to the supercharger.

Four breathing and four safety valves with a capacity of 3000 m<sup>3</sup>/h each are provided on the roofs of the reservoirs. The breathing valves are set to the gas inlet/outlet pressure minus 25/200 mm of water and are equipped with fire barriers. Fire barriers, in order to exclude their freezing, are installed only for the warm period of the year.

Internal heating of the reservoirs is provided by an intermediate coolant, which is fed into the heating coils. The reservoirs are not insulated.

Temperature control and regulation in each reservoir within 20...45 °C is carried out by an automatic control system, the control valve of which is installed on the coolant outlet line from the reservoir coil. When the temperature drops to 20 °C or

when the temperature rises to 45 °C, a warning alarm is triggered. When the extremely high temperature (46 °C) is reached in the reservoir, the coolant supply valve in the coil is triggered to close. When the extremely low temperature (19 °C) is reached, an alarm is triggered.

The discharge of under-the-counter water is provided from a separate branch pipe to receive water pumping pumps. It is also provided for the cleaning of reservoirs with stripping pumps.

The reservoirs are equipped with agitators for mixing oil in order to maintain a constant temperature throughout the reservoir volume and prevent the accumulation of mechanical impurities.

Explosion-proof agitators are installed on the cover of manholes placed on the first belt of oil reservoirs.

Stirrer devices provide:

- erosion and mixing of bottom sediments in the reservoir by a moving jet of oil formed by the propeller of the product;
- automatic change of the direction of the oil jet in the horizontal plane due to the built-in propeller shaft rotation drive;
- creation of circular rotation of the entire mass of oil stored in the reservoir when the product is operating in the extreme angular positions of the propeller shaft;
- start-up and stop from the local control station or remotely from the central operator console.

The principle of operation of the device consists in the formation of an oil mixing process by a directed flooded jet of oil created by a rotating propeller, in which heavy paraffin deposits and mechanical impurities are weighed in the total mass of oil. This process is achieved by two factors in the operation of products:

- due to the direct mixing of oil by the jet created by the propeller of the product;
- by creating a circular rotation of the entire mass of stored oil in the reservoir when the propeller is operating in extreme angular positions.

The built-in automatic rotation drive (APP) ensures, during the operation of the product, the rotation of the housing with the shaft in the horizontal plane at an angle of

$\pm 30^\circ$  relative to the hinge assembly mounted on the connecting flange. The time of passage of the shaft with the propeller from one extreme position to the other is from 3.5 to 5 hours, depending on the design of the product. The selection of rotational motion on the input shaft of the APP is made from the shaft passing coaxially through the center of the APP.

After the end of the washing and mixing process in the reservoir, the oil is pumped out together with the bottom sediments.

The reservoirs are equipped with a water irrigation system, a foam extinguishing system, manholes, ladders and service platforms. The reservoirs are equipped with an oil metering system, which includes: a radar level gauge, a capacitive level gauge of the oil/reservoir water phase separation, a multipoint temperature sensor and a hydrostatic pressure sensor. The process of filling and emptying the reservoirs is controlled by drive valves located on the outside of the collapse. The main valves located near the reservoir have manual control.

#### Evaluation of the remaining resource

As a rule, only large companies can afford the construction of RVS due to the enormous costs. Designing a RVS is meaningless without further construction. At the same time, all companies prefer to analyze the residual resource of the RVS during operation, with its further increase, by repair.

The system for monitoring the technical condition of reservoirs includes the following measures [38]:

- supervision during operation
- reservoir audits during current, medium and major repairs;
- partial inspection of the reservoir from the outside without decommissioning;

full inspection from the outside and inside with decommissioning of the reservoir, emptying, cleaning and degassing.

- a full inspection is also carried out before commissioning previously unused reservoirs or reservoirs after major repairs

Supervision during operation and audit during current, medium and major repairs is carried out by the relevant services of the enterprise operating the reservoir

in accordance with the "Rules of technical operation of reservoirs and instructions for their repair", technological regulations of the enterprise, production instructions and other regulatory and technical documents reflecting the rules of safe operation of the RVS.

According to the results of the survey, the expert organization issues a "Conclusion of the examination of the industrial safety of the reservoir", which is approved in accordance with the established procedure and serves as the basis for the permission of the local Rostekhnadzor authority for further operation of the reservoir before the next survey [39].

### **The traditional approach to assessing the residual resource and its disadvantages**

Numerical and analytical methods are used to determine the residual resource of the reservoir

The analytical approach to the assessment of the residual resource consists in processing the data of measurements of the wall thickness of the reservoir and identifying the average and maximum values of corrosion failure. Simply put, the following formulas are used to determine the residual resource in accordance with RD 153-112-017-97, RD 08-95-95.

To determine the remaining resource, the following calculations are carried out:

- verification calculation of the reservoir wall for strength;
- verification calculation of the reservoir wall for stability;
- calculation of the residual resource according to the criterion of corrosion wear;
- calculation of the residual resource according to the criterion of low-cycle fatigue.

The disadvantage of this method can be seen on the example of calculating the reservoir wall for strength [35, 36]

$$\sigma = \frac{[n_1 \rho(H - x) + n_2 P_u]r}{100\delta} \leq \gamma_c R_y^*$$

where,  $\sigma$  - the calculated voltage in the tested reservoir belt, Pa

$n_1$  - the hydrostatic pressure overload coefficient.

$\rho$  – density, kg/m<sup>3</sup>

H - the height of takeoff, m

x - the height from the bottom to the level of the calculated belt, m

$n_2$  - the overload coefficient for overpressure and vacuum

$\delta$  - the actual thickness of the reservoir wall in the design zone, m

$\gamma_c$  - the coefficient of working conditions

$R_y^*$  – calculated resistance of steel at yield strength, Pa

It can be seen from the formula that to determine the strength of the reservoir wall,  $\delta$  is taken into account – the actual thickness of the reservoir wall in the calculated belt, but if the reservoir belt has different values of deviation from the vertical, then this formula cannot correctly display the correctness of the calculation for defects of different values in the calculated wall belt.

Considering all of the above, the numerical method was used in this dissertation.

The method consists in constructing a 3D model of the reservoir in order to assess the stress-strain state of the reservoir.

The Ansys program was chosen as a program for finite element analysis[34].

## Building a 3D model

Table 18 - Technical parameters

Parameter	Value
<b>Main Features</b>	
Reservoir volume, m <sup>3</sup>	10000
Oil take-off height, m	34,2
Reservoir diameter, m	12
Wall height, m	8
Number of wall belts	$8 \times 10^{-3}$
Thickness of 2-8 wall belts, m	$10^{-2}$
Thickness of 1 wall belt, m	$5 \times 10^{-3}$
Thickness of the central part of the bottom, m	$9 \times 10^{-3}$
The thickness of the roof flooring, m	$5 \times 10^{-3}$
Bearing element of the roof	I – beam I-20Б1
<b>Material execution</b>	
Steel grade	09Г2С
Young's module, Pa	$2,1 \times 10^{11}$
Poisson 's Ratio	0,3
Steel strength class	345
<b>Characteristics of the medium and filling capacity of the tank</b>	
Oil density at 20°C, kg/m <sup>3</sup>	870
Oil takeoff height, m	11
Annual turnover of the reservoir, 1/year	350

Table 19 - Initial data deviations from the vertical.

Belt No.	Section												Limit
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
8	-32	-3	-38	-88	-55	-18	24	24	16	-39	-42	-23	70
7	-15	-2	-47	-82	-52	-19	10	17	11	-44	-59	-19	65
6	1	-1	-8	-67	-37	-5	25	18	18	-25	-52	-11	60
5	5	-5	47	-60	-36	-7	17	10	12	-10	-47	-14	55
4	13	0	48	-48	-20	-1	21	13	15	5	-53	-6	45
3	9	-7	47	-37	-20	-7	9	8	13	1	-44	-6	35
2	13	-4	48	-19	-11	1	-4	10	11	6	-36	-7	25
1	14	-6	20	-7	-11	-2	-10	10	10	7	-30	-3	15

From table 19, we see that in some places the values of defects have exceeded the tolerance limits for this reservoir, based on this, 2 reservoir models will be built, one model will be with deviations, the second without them in order to determine the dependence of the influence of the deviation of the reservoir wall from the vertical on the residual resource.

To build a reservoir with deviations, it is necessary to translate the values of the points into the XYZ coordinate system, then transfer the points to Ansys using the commands Point > From Coordinates File > And select the file in the format .txt with points translated to the desired coordinate system.

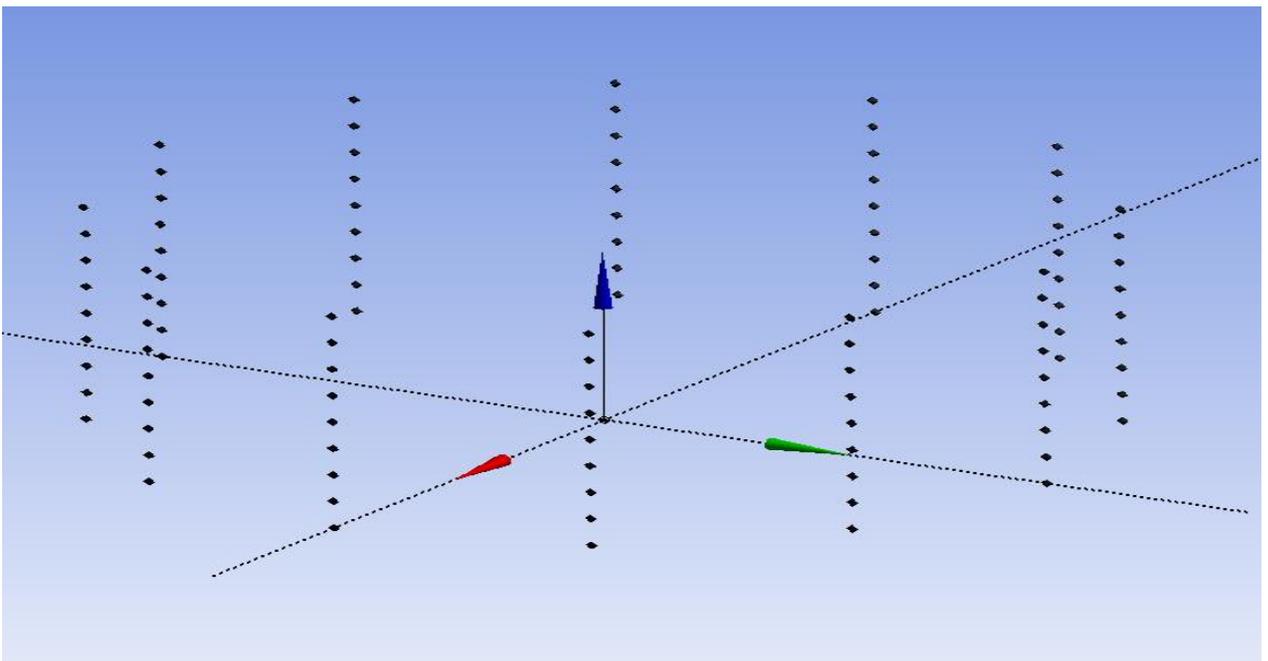


Figure 16 – Points in XYZ coordinate

Next, we connect the points into 8 belts and build the bottom of the reservoir using the Create “Curve” commands, selecting 11 points at the same level along the Z coordinate, we close the “Curve” with the “Closed End” command, after the curves are built, we create planes with the “Create Surf” command

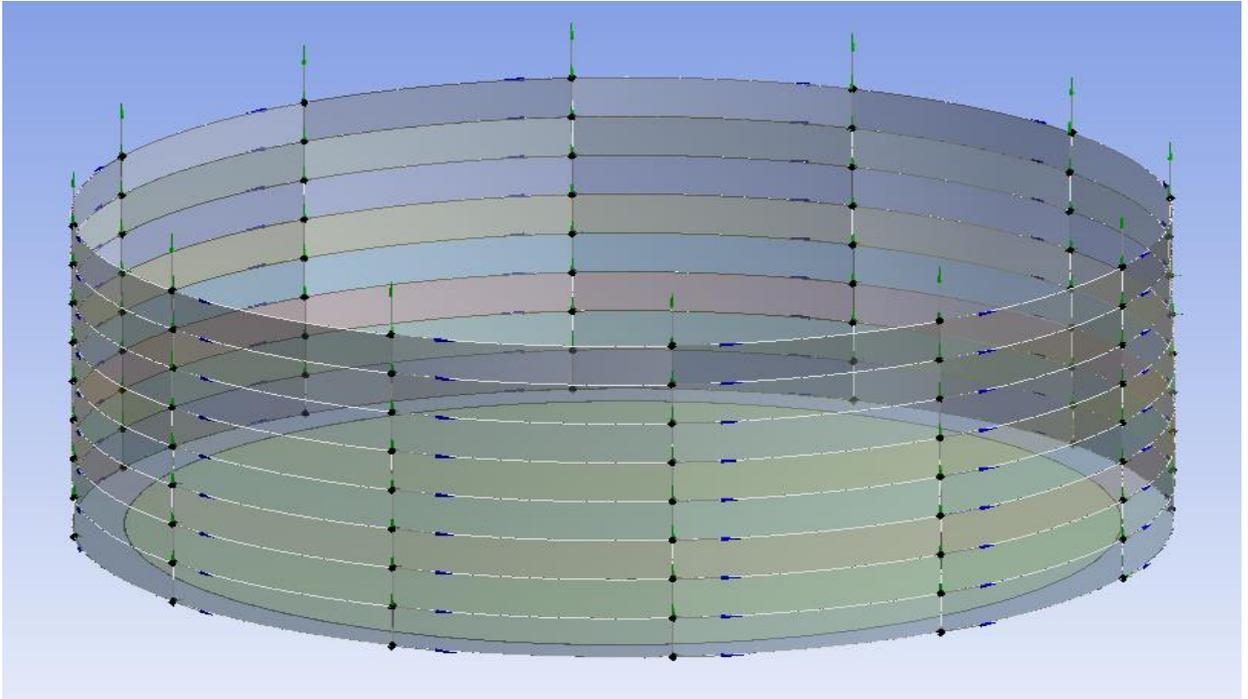


Figure 17 - Surfaces

Next, we build the flooring and supporting elements (I-beams) of the roof

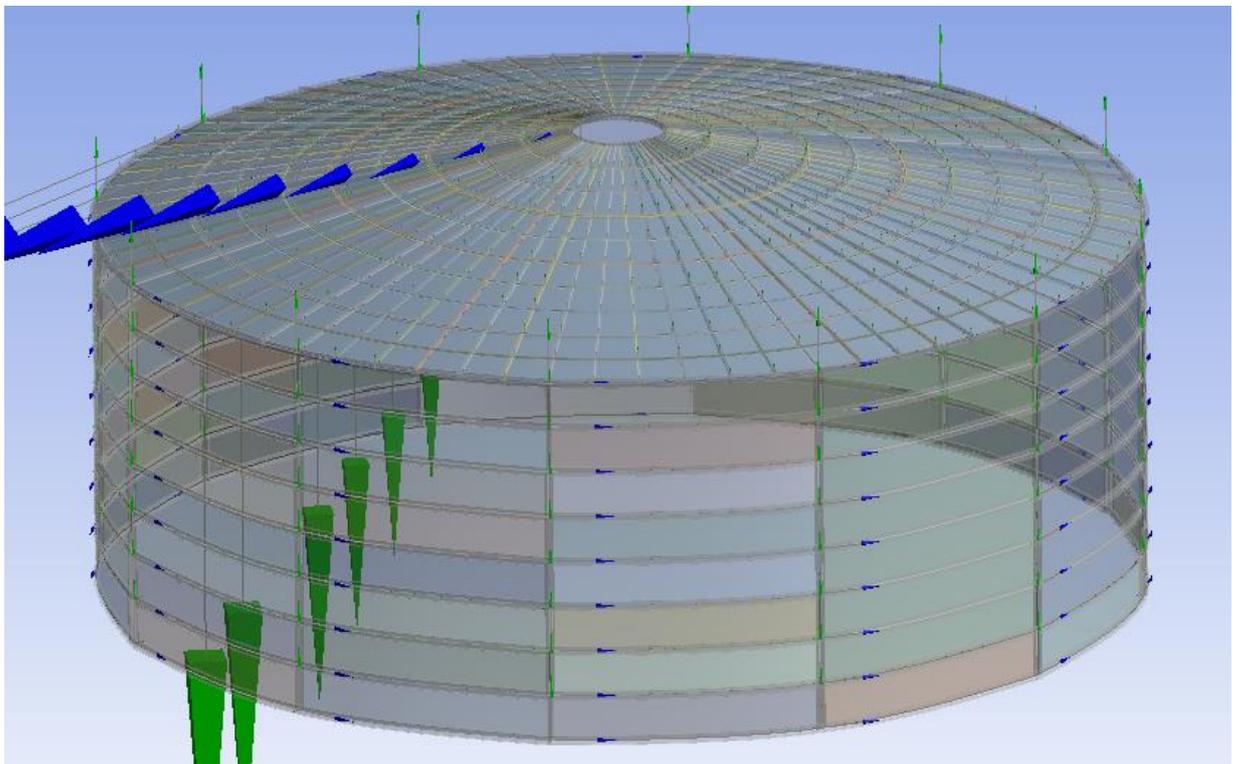


Figure 18- Roof

In Engineering Data, we create the steel we need and its parameters according to table 1

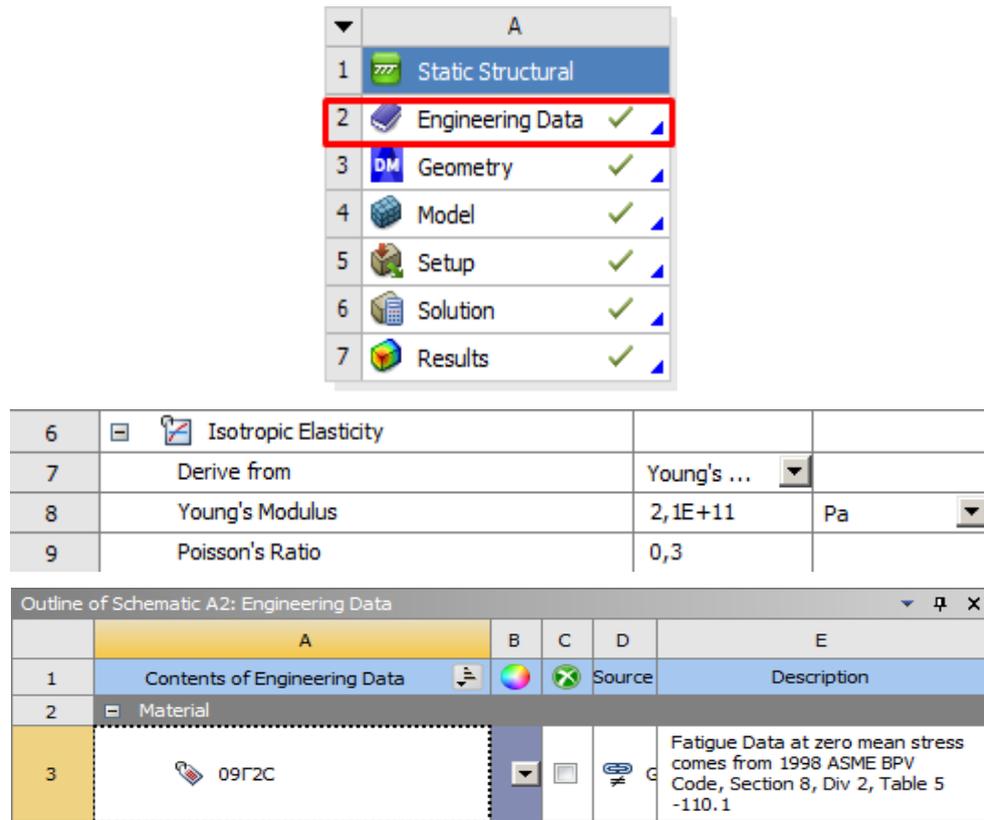


Figure 19 - Parameters

After the construction of the reservoir geometry, we set the thickness and steel of all the components of the reservoir

We apply the forces acting on the reservoir and get the values of Equivalent stress

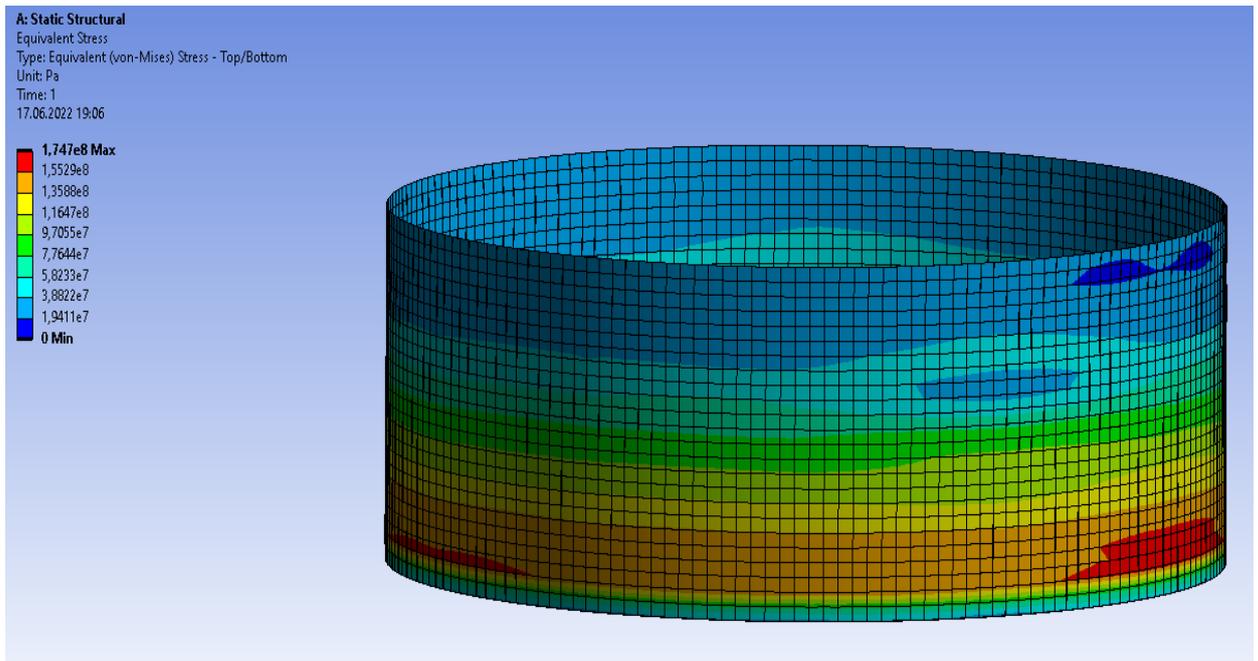


Figure 20 - Equivalent stress of the reservoir with deviations of the reservoir wall from the vertical

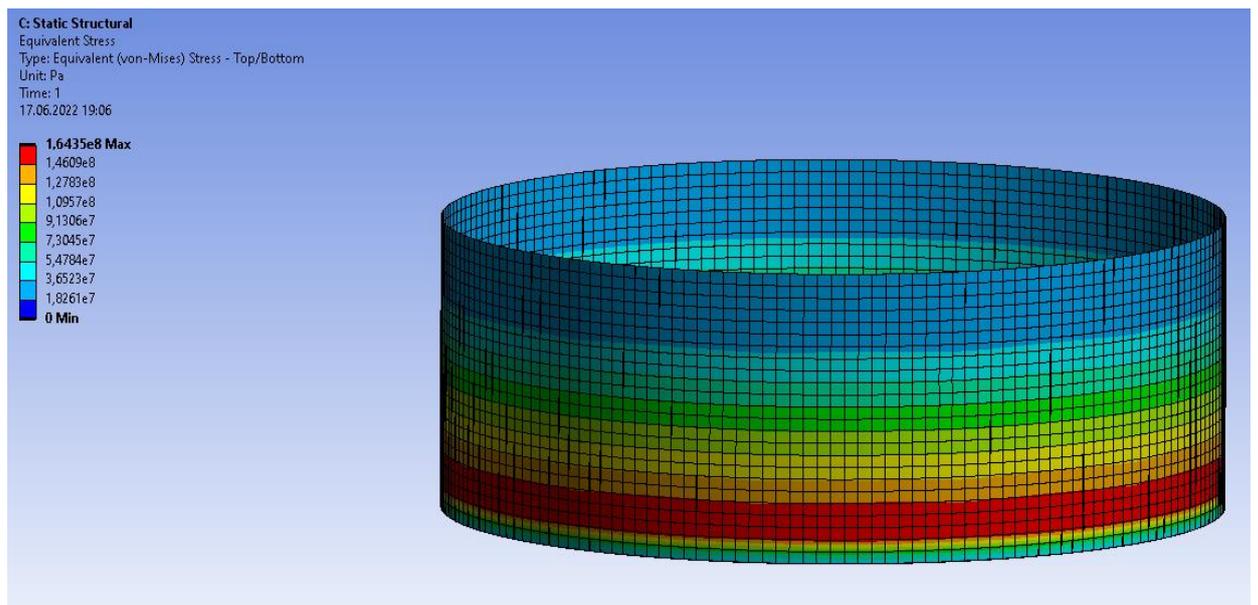


Figure 21 - Equivalent stress of the reservoir without deviations of the reservoir wall from the vertical

For a reservoir without deviation from the vertical, all operations are similar

## **Conclusion**

In the course of this master's thesis, the analysis of normative and scientific and technical literature was carried out to determine the most applicable methods for the analysis of fatigue durability. The analysis revealed the disadvantage of the analytical method of fatigue durability assessment, as a result of which the method of fatigue durability assessment by the finite element method in the Ansys software package was justified and selected.

A parametric finite element model of the reservoir was constructed taking into account the measured deviations of the geometry from the vertical by the operations described in Chapter 3.

The analysis of the stress-strain state of the tank wall was carried out and the effect of the deviation of the wall geometry on the residual resource was determined. It was found that when taking into account only such a factor as the deviation of the wall geometry beyond the tolerance limits, the value of which is regulated according to SP 70.13330.2012 affects the residual resource of the tank by about 17% relative to the residual resource of the tank, which has no vertical deviations.

The results obtained during the dissertation make it possible to improve the quality of technical diagnostics of the tank by taking into account the results of instrumental control of geometric deviations in the calculated analysis of the residual resource, which significantly helps to determine the residual resource of the tank, which is in working condition without its decommissioning.

Based on all of the above, a recommendation has been formed to take into account the actual geometry: to determine the residual resource, having the results of instrumental control, an analysis of the stress-strain state should be carried out according to this master's thesis. This recommendation will help to identify that a tank recognized as an emergency, according to regulatory documents, may be suitable for further operation.