

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 (специальность) 21.04.01 «Нефтегазовое дело»  
 Профиль «Надежность газонефтепроводов и хранилищ»  
 Отделение нефтегазового дела

### МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
«Исследование напряженно-деформированного состояния резервуара вертикального стального типа РВС-5000 куб.м при развитии неравномерных осадок его основания» УДК 621.642.3-025.71-034.14:624.042.62

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2БМ72	Асанов А. В.		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Руководитель ООП ОНД ИШПР	Шадрина А.В.	д.т.н, доцент		

### КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОНД	Романюк В.Б.	к.э.н., доцент		

По разделу «Социальная ответственность»

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

### ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ОНД ИШПР	Шадрина А. В.	д.т.н, доцент		

## ТРЕБОВАНИЯ К РЕЗУЛЬТАТАМ ОСВОЕНИЯ ПРОГРАММЫ МАГИСТРА

### Планируемые результаты обучения

№	Результаты обучения	<i>Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон</i>
P1	Применять естественнонаучные, математические, гуманитарные, экономические, инженерные, технические и глубокие профессиональные знания в области современных нефтегазовых технологий для решения прикладных междисциплинарных задач и инженерных проблем, соответствующих профилю подготовки (в нефтегазовом секторе экономики)	ОК-1; ОК-2; ОК-3, ОПК-1; ОПК-2; ОПК-4; ОПК-5; ОПК-6; ОПК-7, ОПК-8, ПК1; ПК-2; ПК-3; ПК-4; ПК-6; ПК-7; ПК-9; ПК-10; ПК-11; ПК-14; ПК-16; ПК-17; ПК19; ПК-20; ПК-21; ПК-23
P2	Планировать и проводить аналитические и экспериментальные исследования с использованием новейших достижений науки и техники, уметь критически оценивать результаты и делать выводы, полученные в сложных и неопределённых условиях; использовать принципы изобретательства, правовые основы в области интеллектуальной собственности	ОК-1; ОК-2; ОПК-2; ОПК4; ОПК-6; ПК-1; ПК-2; ПК3; ПК-4; ПК-5; ПК-6; ПК-7; ПК-8; ПК-9; ПК-10; ПК-11; ПК-14; ПК-15; ПК-17; ПК18; ПК-19; ПК-20; ПК-22; ПК-23
P3	Проявлять профессиональную осведомленность о передовых знаниях и открытиях в области нефтегазовых технологий с учетом передового отечественного и зарубежного опыта; использовать инновационный подход при разработке новых идей и методов проектирования объектов нефтегазового комплекса для решения инженерных задач развития нефтегазовых технологий, модернизации и усовершенствования нефтегазового производства.	ОК-1; ОК-2; ОПК-1; ОПК2; ОПК-3; ОПК-6; ОПК-7, ОПК-8, ПК-1; ПК-2; ПК-3; ПК-4; ПК-5; ПК-6; ПК-7; ПК-8; ПК-9; ПК-11; ПК-13; ПК-14; ПК-15; ПК-18; ПК20; ПК-21; ПК-22; ПК-23
P4	Внедрять, эксплуатировать и обслуживать современные машины и механизмы для реализации технологических процессов нефтегазовой области, обеспечивать их высокую эффективность, соблюдать правила охраны здоровья и безопасности труда, выполнять требования по защите окружающей среды.	ОК-2; ОПК-1; ОПК-2; ОПК-7, ОПК-8, ПК-1; ПК3; ПК-6; ПК-9; ПК-10; ПК11; ПК-14; ПК-16; ПК-17; ПК-18; ПК-19; ПК-21; ПК22;
P5	Быстро ориентироваться и выбирать оптимальные решения в многофакторных ситуациях, владеть методами и средствами математического моделирования технологических процессов и объектов	ОК-2; ОК-3; ОПК-1; ОПК2; ПК-4; ПК-5; ПК-6; ПК-7; ПК-8; ПК-9; ПК-10; ПК-11; ПК-17; ПК-20;
P6	Эффективно использовать любой имеющийся арсенал технических средств для максимального приближения к поставленным производственным целям при разработке и реализации проектов, проводить экономический анализ затрат, маркетинговые исследования, рассчитывать экономическую эффективность.	ОК-2; ОПК-1; ОПК-2; ОПК-4; ОПК-7, ОПК-8, ПК1; ПК-3; ПК-4; ПК-5; ПК-6; ПК-8; ПК-9; ПК-10; ПК-11; ПК-13; ПК-14; ПК-15; ПК16; ПК-17; ПК-18; ПК-19; ПК-20; ПК-21; ПК-22; ПК23
P7	Эффективно работать индивидуально, в качестве члена и руководителя команды, умение формировать задания и оперативные планы всех видов деятельности, распределять обязанности	ОК-1; ОК-2; ОК-3; ОПК-1; ОПК-2; ОПК-4; ОПК-5; ОПК-6; ПК-6; ПК-11; ПК12; ПК-13; ПК-14; ПК-15; ПК-23

	членов команды, готовность нести ответственность за результаты работы	
P8	Самостоятельно учиться и непрерывно повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности; активно владеть иностранным языком на уровне, позволяющем работать в интернациональной среде, разрабатывать документацию и защищать результаты инженерной деятельности	ОК-1; ОК-2; ОК-3; ОПК-2; ОПК-3; ОПК-4; ОПК-5; ОПК-7, ОПК-8, ПК-1; ПК8; ПК-23

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 (специальность) 21.04.01 «Нефтегазовое дело»  
 Профиль «Надежность газонефтепроводов и хранилищ»  
 Отделение нефтегазового дела

УТВЕРЖДАЮ:  
 Руководитель ООП ОНД ИШПР  
 \_\_\_\_\_ Шадрина А.В.  
 (Подпись)      (Дата)      (Ф.И.О.)

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

В форме:

магистерской диссертации
--------------------------

Студенту:

Группа	ФИО
2БМ72	Асанову Александру Валерьевичу

Тема работы:

«Исследование напряженно-деформированного состояния резервуара вертикального стального типа РВС-5000 куб.м при развитии неравномерных осадок его основания»	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	от 11.02.2019 г. №1064/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<p><b>Исходные данные к работе</b>  <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<p>Объект исследования: вертикальный стальной резервуар объемом 5000 куб. м, расположенный в Тюменской области на территории дожимной насосной станции</p>
---	--

<p><b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b>  <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<p>Выполнить обзор отечественной и зарубежной литературы, провести анализ и выявить основные причин аварийности резервуаров в процессе эксплуатации. С помощью программного обеспечения ANSYS построить и верифицировать полученную модель РВС-5000. Получить действующие напряжения и перемещения в конструкции резервуара при задании неравномерной осадки наружного контура днища в случаях заполненного и опорожненного резервуара, при воздействии эксплуатационных нагрузок. Исследовать влияние выступа окрайки днища на напряженно-деформированное состояние всей конструкции резервуара.</p>
--	---

<p><b>Перечень графического материала</b>  <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<p>Рисунки, таблицы, диаграммы, графики</p>
--	---

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

Раздел	Консультант
«Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	Романюк В.Б., доцент, к.э.н.
«Социальная ответственность»	Черемискина М. С., ассистент

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

1. Обзор научных исследований, посвященных неравномерным осадкам резервуаров
2. Классификация типов осадок оснований РВС
3. Анализ причин аварийности резервуаров
4. Анализ производственных ситуаций вследствие неравномерных осадок и методы их устранения

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

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Руководитель ООП ОНД ИШПР	Шадрина А.В.	д.т.н, доцент		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2БМ72	Асанов Александр Валерьевич		

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
2БМ72	Асанову Александру Валерьевичу

<b>Школа</b>	Инженерная школа природных ресурсов	<b>Отделение (НОЦ)</b>	Отделение нефтегазового дела
<b>Уровень образования</b>	Магистр	<b>Направление/специальность</b>	21.04.01 Нефтегазовое дело / надежность газонефтепроводов и хранилищ

<b>Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:</b>	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Объектом исследования является резервуар вертикальный стальной объемом 5000 м <sup>3</sup> . Предназначен для приёма, хранения, подготовки, учёта (количественного и качественного) и выдачи жидких продуктов. Исследование напряженно-деформированного состояния будем проводить за компьютером, в программном обеспечении ANSYS.
<b>Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:</b>	
<b>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</b>	Нормативное регулирование охраны труда при осуществлении трудовой деятельности за компьютерами осуществляется посредством следующих документов: Типовая инструкция ТОИ Р-45-084-01; СанПиН 2.2.2. / 2.4. 1340-03 (далее – СанПиН); ТК РФ; Приказ Минздравсоцразвития РФ № 302н; 426-ФЗ.
<b>2. Производственная безопасность:</b> 2.1 Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть при эксплуатации РВС-5000.  2.2 Анализ выявленных вредных факторов, которые могут возникнуть на рабочем месте при проведении исследований.  – отклонение показателей микроклимата – повышенный уровень шума и вибрации; – недостаточная освещенность; – повышенный уровень электромагнитных излучений.	При эксплуатации резервуара выявлены следующие виды вредных и опасных факторов: – повышенная загазованность воздуха рабочей зоны; – оборудование, работающее под давлением – пожарная и взрывная безопасность  При выполнении работы могут возникнуть следующие виды вредных факторов: – отклонение показателей микроклимата – повышенный уровень шума и вибрации; – недостаточная освещенность; – повышенный уровень электромагнитных излучений.
<b>3. Экологическая безопасность:</b>	При эксплуатации резервуаров необходимо выполнять своевременный ремонт. При его выполнении существует множество источников, оказывающих негативное воздействие на атмосферу, литосферу и гидросферу. Это шлам, обтирочные материалы, дым и газы от техники и сварочных работ, разливы нефти, при его разгерметизации.
<b>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</b>	В процессе эксплуатации резервуара с неравномерной осадкой основания возможна

	разгерметизация РВС, взрыв или пожар, которые будут сопровождаться разливом нефти. Чрезвычайные ситуации могут возникнуть по причинам природного характера (гроза, пожар) или по причинам техногенного характера (аварии). При исследовании НДС резервуара может возникнуть пожар.
--	--

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

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ассистент ООД, ШБИП	Черемискина М.С.			

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2БМ72	Асанов Александр Валерьевич		

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

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
2БМ72	Асанову Александру Валерьевичу

<b>Школа</b>	Инженерная школа природных ресурсов	<b>Отделение (НОЦ)</b>	Отделение нефтегазового дела
<b>Уровень образования</b>	Магистр	<b>Направление/специальность</b>	21.01.01 Нефтегазовое дело

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

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	<i>В данном разделе магистерской диссертации необходимо представить: график выполнения работ; трудоёмкость выполнения операций; нормативно-правовую базу, используемую для расчётов; результаты расчётов затрат на выполняемые работы; оценить эффективность нововведений и др. Раздел должен включать: методику расчёта показателей; исходные данные для расчёта и их источники; результаты расчётов и их анализ.</i>
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	<i>Нормы расхода материалов, тарифные ставки заработной платы рабочих, нормы амортизационных отчислений, нормы времени на выполнение операций в ходе выполнения операций согласно справочников Единых норм времени (ЕНВ) и др.</i>
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	<i>Ставка налога на прибыль 20 %; Страховые взносы 30%; Налог на добавленную стоимость 20%</i>

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

1. <i>Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	<i>Расчет затрат и финансового результата реализации проекта</i>
2. <i>Планирование и формирование бюджета научных исследований</i>	<i>График выполнения работ</i>
3. <i>Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</i>	<i>Расчет экономической эффективности внедрения новой техники или технологии</i>

**Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):**

1. Структура затрат на проведение капитального ремонта

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

**Задание выдал консультант:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
доцент	Романюк В.Б.	к.э.н, доцент		06.05.2019

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
2БМ72	Асанов Александр Валерьевич		06.05.2019

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

Инженерная школа природных ресурсов (ИШПР)  
 Направление подготовки (специальность) 21.04.01 «Нефтегазовое дело»  
 Профиль «Надежность газонефтепроводов и хранилищ»  
 Уровень образования магистр  
 Отделение нефтегазового дела  
 Период выполнения \_\_\_\_\_ (осенний / весенний семестр 2018/2019 учебного года)

Форма представления работы:

магистерская диссертация

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

Срок сдачи студентом выполненной работы:	24.05.2019
--	------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
10.02.2019	<i>Обзор литературы</i>	10
15.02.2019	<i>Общие сведения об объекте исследования</i>	10
01.03.2019	<i>Построение методики расчета</i>	15
22.03.2019	<i>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</i>	15
03.04.2019	<i>Социальная ответственность</i>	15
20.04.2019	<i>Приложение на иностранном языке</i>	15
28.04.2019	<i>Заключение</i>	5
20.05.2019	<i>Презентация</i>	15
	<i>Итого</i>	100

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Руководитель ООП ОНД ИШПР	Шадрина А.В.	д.т.н, доцент		

**СОГЛАСОВАНО:**

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ОНД ИШПР	Шадрина А. В.	д.т.н, доцент		

## РЕФЕРАТ

*Магистерская диссертация* включает 141 страницу текстового материала, 81 рисунок, 27 таблиц, 59 источников.

*Ключевые слова:* вертикальный стальной резервуар, неравномерная осадка основания, крайка, днище, аналитический метод, численный метод, программное обеспечение.

*Объект исследования:* вертикальный стальной резервуар объемом 5000 куб. м, расположенный в Тюменской области на территории дожимной насосной станции.

*Цель работы:* исследование напряженно-деформированного состояния резервуара при развитии неравномерных осадок его основания.

*Результаты исследования* при исследовании напряженно-деформированного состояния резервуара вследствие неравномерных осадок его основания были выявлены максимальные вертикальные перемещения узла сопряжения стенки и днища резервуара. Было проведено исследование влияния выступа крайки днища резервуара на его напряженно-деформированное состояние в целом. Полученные результаты сравнили с действующей нормативно-технической базой.

*Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики:* моделирование конечно-элементного объекта в программном обеспечении ANSYS с учетом всех эксплуатационных нагрузок и верификация полученной модели.

*Область применения:* нефтяные предприятия.

*Экономическая эффективность/значимость работы:* Определение экономических затрат на проведение капитального ремонта резервуара и сравнение их с затратами на построение нового идентичного объекта.

					<i>Исследование напряженно-деформированного состояния резервуара вертикального стального типа РВС-5000 куб.м при развитии неравномерных осадок его основания</i>			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				
<i>Разраб.</i>		Асанов А.В.			<i>Реферат</i>	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Руковод.</i>		Шадрина А.В.					110	124
<i>Консульт.</i>						ТПУ, ИШПР Группа 2БМ72		
<i>Рук-ль ООП</i>		Шадрина А.В.						



4.2.1 Анализ вредных и опасных факторов, которые может создать резервуар при его эксплуатации.....	84
4.2.2 Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть на рабочем месте при проведении исследований резервуара .....	87
4.2.3 Обоснование мероприятий по защите исследователя от действия опасных и вредных факторов .....	90
4.3 Экологическая безопасность .....	91
4.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях .....	94
4.4.1 Безопасность в чрезвычайных ситуациях при эксплуатации резервуаров.....	94
4.4.2 Безопасность в чрезвычайных ситуациях при эксплуатации ПЭВМ ..	96
Глава 5. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	99
5.1 Обоснование потребности в материально-технических и трудовых ресурсах и календарного плана работ.....	99
5.2 Расчет затрат на проведение мероприятий по ремонту РВС-5000 .....	102
5.3 Оценка экономической эффективности мероприятия.....	108
Заключение .....	110
Список используемых источников.....	112
Приложение А .....	118

## Введение

Вертикальные стальные резервуары (РВС) являются ответственными инженерными сооружениями, которые необходимы для хранения нефти и нефтепродуктов в резервуарных парках, а также играют важную роль в технологической системе трубопроводного транспорта нефти. Резервуары являются конструкциями повышенной опасности, так как аварии в резервуарных парках или на отдельно стоящих резервуарах приводят к существенным экологическим, социальным и экономическим последствиям. Из-за этих особенностей контроль технического состояния РВС и их своевременный ремонт (текущий, капитальный) имеют большое значение при эксплуатации стальных резервуаров.

В исследованиях российских и зарубежных авторов, таких как В.Б.Галеев, Г.Г.Хопёрский, А.А.Тарасенко, А.С.Горелов, К.Кавано, Р.Бэлл, Д.Гринвуд описано, что до 60 % резервуаров, которые эксплуатируются в настоящее время, подвержены неравномерной осадке оснований.

Неравномерная осадка наружного контура днища РВС не редко приводит к появлению высоких напряжений в конструкциях, а иногда является причиной аварии. Существующие в настоящее время численные решения и аналитические зависимости при развитии неравномерных осадок не позволяют определить наступление предельных состояний в металлоконструкциях, а также оценить напряженно-деформированное состояние (НДС) резервуаров. Результат расчётов, проводимые по имеющимся методикам, дают заниженные значения осадок оснований резервуаров. Деформации металлоконструкций, из-за появления зон неравномерной осадки, зависят от жесткости РВС и имеют конечные значения, но для того чтобы определить эти величины, необходимо создать численную модель объекта и выполнить соответствующие вычисления.

					<i>Исследование напряженно-деформированного состояния резервуара вертикального стального типа РВС-5000 куб.м при развитии неравномерных осадок его основания</i>			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				
<i>Разраб.</i>		<i>Асанов А.В.</i>			<b>Введение</b>	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Руковод.</i>		<i>Шадрина А.В.</i>					13	124
<i>Консульт.</i>						<b>ТПУ, ИШПР Группа 2БМ72</b>		
<i>Рук-ль ООП</i>		<i>Шадрина А.В.</i>						

Проектирование модели РВС-5000 с учетом геометрии сооружения, а также нагрузок и граничных условий, которые влияют на точность расчета НДС объекта, обусловлено появлением новых программных обеспечений в концепции которых лежит метод конечных элементов (МКЭ).

Метод определения изменения НДС резервуара из-за развития неравномерных осадок основания является актуальной задачей, так как от правильного и безаварийного функционирования резервуаров во многом зависят жизни обслуживающего персонала, окружающая среда и бесперебойная поставка нефтепродуктов во всем мире.

**Объект исследования** – вертикальный стальной резервуар объемом 5000 куб. м.

**Цель работы:** исследование напряженно-деформированного состояния резервуара при развитии неравномерных осадок его основания.

**Основные задачи исследования:**

1. Выполнить обзор отечественной и зарубежной литературы, провести анализ и выявить основные причины аварийности резервуаров в процессе эксплуатации
2. С помощью программного обеспечения ANSYS построить и верифицировать полученную модель РВС-5000.
3. Получить действующие напряжения и перемещения в конструкции резервуара при задании неравномерной осадки наружного контура днища в случаях заполненного и опорожненного резервуара, при воздействии эксплуатационных нагрузок.
4. Исследовать влияние выступа окрайки днища на напряженно-деформированное состояние всей конструкции резервуара.
5. Изучить вопросы социальной ответственности при обслуживании резервуаров, а также при выполнении работы по исследованию резервуара в компьютерном классе.
6. Рассчитать стоимость капитального ремонта РВС-5000 при выявлении неравномерной осадки его основания.

					Введение	Лист
						14
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

# Глава 1. Изучение вопроса о причинах возникновения неравномерных осадок резервуаров и методы их устранения

## 1.1 Обзор научных исследований, посвященных неравномерным осадкам резервуаров

В связи с расширением географии освоения новых месторождений, а, следовательно, и увеличением трубопроводного транспорта нефти, появилась необходимость в сооружении большого количества вертикальных стальных резервуаров. Проблема неравномерных осадок оснований резервуаров возникает из-за того, что Западная Сибирь, в которой расположено большое количество объектов системы транспорта нефти, относится к территориям где залегают слабые переувлажненные грунты. [1].

Многолетний опыт эксплуатации вертикальных стальных резервуаров показывает, что неравномерная осадка РВС между его центральной частью днища и стенкой возникает из-за разного удельного давления на грунт от массы самой стенки и гидростатической нагрузки, практически сразу после проведения гидравлических испытаний. Под центральной частью днища давление находится в пределах 0,16-0,2 МПа, а под стенкой оно значительно выше, и составляет 0,9-1,5 МПа. Известны случаи, когда при эксплуатации резервуаров разница осадки между окрайкой днища и его центральной частью достигала 0,6-0,8 м.

Осадку оснований РВС, которая происходит из-за деформации грунтов, является неизбежным фактором при эксплуатации этих сооружений, она возникает в результате сжатия гидрофобного слоя под нагрузкой, которая определена массой жидкости, хранимой в резервуаре, а также массой самого резервуара.

					<i>Исследование напряженно-деформированного состояния резервуара вертикального стального типа РВС-5000 куб.м при развитии неравномерных осадок его основания</i>			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				
<i>Разраб.</i>		Асанов А.В.			<i>Изучение вопроса о причинах возникновения неравномерных осадок резервуаров и методы их устранения</i>	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Руковод..</i>		Шадрина А.В.					15	124
<i>Консульт.</i>						ТПУ, ИШПР Группа 2БМ72		
<i>Рук-ль ООП</i>		Шадрина А.В.						

Брак при выполнении строительно-монтажных работ и ошибки в проектировании фундамента основания резервуара являются частым проявлением неравномерных и локальных просадок по периметру днища РВС.

Дополнительные деформации в конструктивных элементах резервуара, особенно наблюдающиеся в уторном шве, вызваны дополнительными напряжениями при неравномерных осадках. Сочетания дополнительных напряжений с эксплуатационными часто приводят к разгерметизации резервуара (разрушение уторного шва, разрыв полотнищ днища). В случаях значительной деформации стенки резервуара не исключены дефекты в зоне примыкания стационарной крыши к стенке и к опорному кольцу, которое крепится на стенку резервуара [2].

В мировой практике по использованию вертикальных стальных резервуаров аварии, в основном, происходят из-за комплекса причин, одна из которых – неравномерная осадка отдельных сегментов основания [3].

Как в процессе эксплуатации РВС, так и при проведении гидравлических испытаний, после его строительства или капитального ремонта, происходит осадка естественного основания грунтовой подушки и гидрофобного слоя, которая расположена под днищем резервуара [4].

Общая неравномерная осадка основания различается по площади и по периметру резервуара. Она зависит от многочисленных факторов, таких как различная степень уплотнения искусственного основания, неравномерность нагрузок на среднюю часть и по всему периметру, неоднородность грунта распространенного по площади основания.

Нормативно-техническая документация в области вертикальных стальных резервуаров предусматривает гидравлические испытания для выявления брака в конструкции, для определения герметичности, а также для оценки изменения геометрии основания до и после его испытаний.

Работы таких авторов как Любушкин В.В. [5], Буренин В.А.[6] Де Бир [7] посвящены анализу просадки оснований РВС в процессе проведения

					<i>Изучение вопроса о причинах возникновения неравномерных осадок резервуаров и методы их устранения</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		16

гидравлических испытаний, а про исследование просадки резервуара в период эксплуатации писали Бородавкин П.П.[8], Галеев В.Б. [2], Тарасенко А.А[9-11], Кларк [12], Пэнман [13], Саллеван [14] и другие авторы. В данных работах описаны результаты естественных наблюдений за просадкой резервуаров, монтаж которых проводился в различных грунтовых и климатических условиях, а также предлагается использование терминологии по выявлению отдельных видов осадок.

Бородавкин П.П [8] предлагает разделять диаметральную, периферийную и осадку в виде развала, примерно такую же классификацию осадок предлагают Галеев В.Б [2] и Кларк [12].

В работе Большакова Н.В. [15] для различных объемов резервуаров приводятся статистические данные о величине просадки, но он не определяет явные границы неравномерной осадки. Кавано К. в работе [16] предлагает следующую классификацию неравномерных осадок:

- по периметру резервуара;
- в радиальном направлении, которая имеет чашеобразный характер и вызывает изгибающие напряжения на участке днища (вблизи окрайки) и в местах сварки листов днища между собой;
- локальные (впадины и выпуклости), расположенные по площади днища.

Все приведенные классификации неравномерных осадок оснований можно считать неполными, так как они не охватывают все существующие случаи, встречающиеся в практике по эксплуатации резервуаров, поэтому далее рассмотрим подробную классификацию.

## 1.2 Классификация типов осадок оснований РВС

Просадка естественного основания резервуаров в период гидроиспытаний или же в процессе эксплуатации происходит из-за деформации грунтов, которые находятся под действиями испытательных или эксплуатационных нагрузок [4]. Осадку резервуаров, построенных на

					<i>Изучение вопроса о причинах возникновения неравномерных осадок резервуаров и методы их устранения</i>	<i>Лист</i>
						17
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

основаниях с различными условиями, в процессе многочисленных наблюдений и различных исследований предлагают подразделять на неравномерную и равномерную. Равномерная осадка подразделяется по площади или по периметру, неравномерную так же разделяют по площади и по контуру резервуара, так же к ней относятся локальные просадки днища; крен; осадка, называемая «ступенька»; диаметральная осадка и осадка представляющая собой развал основания по диаметру РВС [2, 17].

Если наблюдается одинаковое смещение всех точек площади днища и стенки резервуара в вертикальной плоскости на условную величину  $u$ , то такая осадка относится к равномерной по площади основания. Этот вид осадки характерен для резервуаров больших объемов, имеющих основание в виде железобетонного фундаментного кольца. Данный пример равномерной осадки по площади основания возникает в большинстве случаев после сооружения, при проведении гидравлических испытаний, а также в случае изменений гидрогеологических условий во время эксплуатации. Из-за того, что при равномерной осадке по площади основания происходит деформация большого массива грунта, которая превышает диаметр резервуара, исправить ее невозможно. В этом случае неосесимметричных составляющих нагрузки почти не возникает, но в таких конструкциях, где если не предусмотрены компенсаторы, данный вид может создать дополнительные напряжения в узлах сопряжений приемораздаточных устройств и стенки резервуара.

Крупногабаритные резервуары, основание которых сложено водонасыщенными грунтами, подвержены равномерной по периметру осадке.

Такой вид осадок происходит из-за процессов уплотнения и консолидации грунтового массива при гидроиспытаниях, а также в начальный период эксплуатации. В этом случае опасности подвержены узлы сопряжений приемораздаточных устройств и элементы крепления шахтной лестницы, имеющей собственный фундамент, со стенкой резервуара.

					<i>Изучение вопроса о причинах возникновения неравномерных осадок резервуаров и методы их устранения</i>	<i>Лист</i>
						18
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

Осадка резервуара, при воздействии которой вся конструкция по наружному контуру и площади подвержена уклону в одном направлении называется креном. Величина крена характеризуется либо углом поворота плоскости днища резервуара относительно горизонта, либо разностью высотных отметок диаметрально противоположных точек окрайки днища.

В районах с преобладанием мерзлых грунтов или при некачественном свайном основании встречается неравномерная осадка по площади резервуара. В процессе сливо-наливных операций, при несущей способности свай меньше расчетных, происходят их перемещения вдоль собственных осей.

Это приводит к тому, что оголовок сваи перемещается и сдвигает опирающиеся на него фундаментные плиты, вследствие чего возникают недопустимые деформации и происходит разрушение сварных соединений листов днища. Для предотвращения данных перемещений в процессе выполнения дефектоскопии необходимо применение полной нивелировке днища резервуара для нахождения просадочных мест. Ремонт неравномерной осадки по площади резервуара производится путем замены просадочных частей днища и восстановления несущей способности основания (обычно используется метод электрохимического закрепления грунта) [1].

Диаметральные виды осадок и осадки в виде развала основания в практике встречаются довольно редко, в основном они происходят из-за ошибок при проведении проектно-изыскательных работ, а также при недостаточно качественном строительстве. Развал происходит в двух направлениях: в периферии с зоной развала по диаметру либо по линии, близкой к нему [18]. При этом возникают значительные перенапряжения в стенке и соединительных узлах уторного шва и верхнего узла сопряжения кровли, стенки и опорного кольца по линии развала.

В работе Тарасенко А.А. [17] упоминается дефект узла соединения стенки и днища типа «ступенька» впервые в отечественном резервуаростроении. Дефект в виде «ступеньки» представляет собой резкий

					<i>Изучение вопроса о причинах возникновения неравномерных осадок резервуаров и методы их устранения</i>	<i>Лист</i>
						19
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

перепад отметок наружного контура днища на коротком участке, образующийся вследствие локальной просадки отдельного участка наружного контура днища. Причиной этому обычно служит брак СМР.

Практика показывает, что в Западной Сибири наиболее часто встречается неравномерная осадка по контуру резервуара. Такой вид осадки основания обусловлен большой величиной просадки под стенкой резервуара, нежели под основной частью днища. Причина образования данного вида осадок — это разности в нагрузках, которые передаются резервуаром по площади центральной части днища и по наружному контуру. Нагрузка по площади основания состоит из хранимого в резервуаре продукта и для РВС-5000 составляет 90-110 кПа. Нагрузка на основание под наружным контуром днища определяется из массы стенки, крыши и стационарного оборудования резервуара, удельная нагрузка примерно составляет 130-140 кПа. Отличие механизмов передачи давления на основание от фундаментного кольца и центральной части днища также является важным фактором.

В нашем случае резервуар имеет кольцевой железобетонный фундамент, который будем рассматривать как абсолютно жесткое недеформируемое тело. Ж/б фундамент равномерно передает давление на грунтовой массив от веса находящейся жидкости в резервуаре и от массы самого резервуара.

Центральная часть днища представляет собой тонкостенную металлическую мембрану, которая способна принимать упругие деформации по оси цилиндрической оболочки резервуара. В этом и состоят различные просадки основания наружного контура днища и его центральной части.

Как показывает практика эксплуатации вертикальных стальных резервуаров обычно осадки встречаются в различных сочетаниях, но любая просадка основания может быть определена как сумма крена, неравномерной и равномерной осадки. Поэтому для исследования напряженно-деформированного состояния РВС в процессе просадки необходимо рассмотреть методику разложения осадки на элементарные составляющие

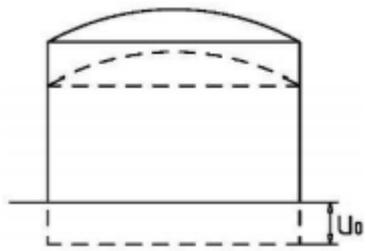
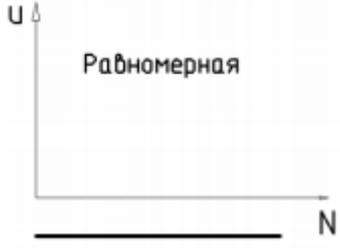
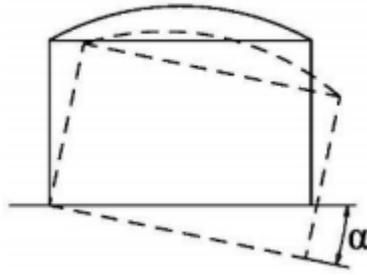
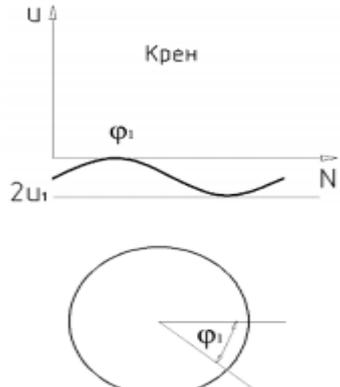
					<i>Изучение вопроса о причинах возникновения неравномерных осадок резервуаров и методы их устранения</i>	<i>Лист</i>
						20
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

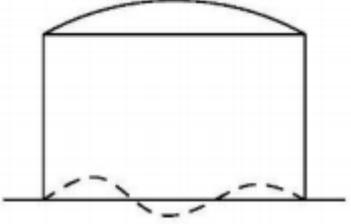
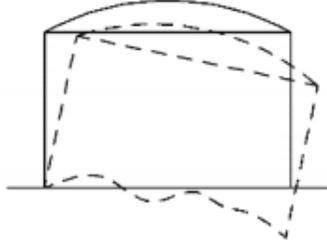
элементы. Классификация неравномерных осадок, которая основана на анализе гармоник ряда Фурье представлена в работах [2, 19]:

- равномерная осадка (осадка нулевого порядка);
- крен (осадка первого порядка);
- неравномерная осадка (осадка второго порядка);
- общая осадка (осадка третьего и высших порядков).

Рассмотрим классификацию осадок, которую предложил Галеев В.Б. в работах [2, 4].

Таблица 1. Классификация осадок вертикальных стальных резервуаров

Вид осадки	Профиль депланации	Математическая модель
		$u_0 = \frac{1}{1+n} \sum_{i=1}^n y_i$
Возникает на этапе гидроиспытаний резервуара		
		$u_1 = \sqrt{A_1^2 + B_1^2}$ $\varphi_1 = \arctg \frac{B_1}{A_1}$ <p><math>\alpha</math> – угол крена;  <math>u_1</math> – разность абсолютных отметок диаметрально-противоположных точек;  <math>\varphi_1</math> – угол направления крена (сдвиг по фазе).</p>
Возникает на этапе гидроиспытаний и при длительной эксплуатации		

	 <p>Неравномерная</p>	$u_{\text{нер}} = \sum_{k=2}^{\frac{n}{2}} u_k \cos(kx - \varphi_k)$ $u_k = \sqrt{A_k^2 + B_k^2}$ $\varphi_k = \arctg \frac{B_k}{A_k}$ <p><math>u_1, u_2, \dots, u_{n/2}</math> – амплитуды <math>n</math>-ых гармоник зон депланации;  <math>\varphi_k</math> – угол сдвига <math>K</math>-ой гармоники.</p>
<p>Возникает на этапе строительства и при длительной эксплуатации</p>		
	 <p>Общая осадка</p>	$u = u_0 + \sum_{k=2}^{\frac{n}{2}} u_k \cos(kx - \varphi_k)$ <p><math>u</math> – осадка в общем виде.</p>
<p>Возникает на этапе строительства, при гидроиспытаниях и при длительной эксплуатации</p>		

### 1.3 Анализ причин аварийности резервуаров

В настоящее время нефтяная промышленность развивается во всем мире, вследствие этого количество вновь строящихся резервуаров растет, но несмотря на это, информации об авариях в резервуарных парках или отдельно стоящих резервуарах немного. Это связано с тем, что возведение резервуаров производится по строго регламентированным строительным нормам и правилам, как и приемка их в эксплуатацию, а также с нежеланием небольших частных компаний, занимающихся нефтедобычей, афишировать последствия своих аварий, так как на это повлияет репутацию фирмы.

Деструкция резервуарных парков и отдельно стоящих резервуаров в большинстве случаев приводит к значительным материальным, природоохранным и общественным последствиям. Результатом аварии является частичное или полное разрушение аварийного резервуара, а в более

масштабных случаях и других резервуаров, зданий и сооружений, которые были близко расположены к аварийному. В случае аварии загрязняется атмосфера, почвенные слои, водные объекты и нередко происходит травмирование рабочего персонала, обслуживающего опасный производственный объект. Материальный ущерб, причиненный авариями в резервуарных парках, в 500 и более раз превышает основные расходы на их возведение [20].

Для предотвращения аварий, необходимо повышать надежность и безопасность эксплуатации резервуаров, что в настоящее время является актуальной задачей. Для решения этой задачи необходимо своевременно и качественно определять техническое состояние объекта в последствии с выводами о дальнейшей его эксплуатации или же выведении в ремонт. В настоящее время одним из главных показателей технического состояния вертикальных стальных резервуаров является оценка их напряженно-деформированного состояния, которая производится в программных комплексах в основном с использованием метода конечных элементов.

Далее проанализируем причины аварийности резервуаров и определим факторы, которые оказывают основное влияние на формирование напряженно-деформированного состояния.

Тарасенко А.А. [9, 10], Галеев В.Б [2, 4, 21, 22], Березин В.Л. [23, 24], Беляев Б.И. [25], Мангушев Р.А., Коновалов П.А. [26, 27], Землянский А.А. [28], Коновалова О.П. [29], Розенштейн И.М. [30], Афонская Г.П. [31], Ханухов Х.М. [32] посвятили работы исследованию причин частичного или полного разрушения вертикальных стальных резервуаров. Выше указанные авторы проводили исследования аварий, информация о которых взята из периодических изданий, личного опыта и технической литературы.

Натурные и априорные литературные исследования 213 аварийных резервуаров представлены в работах Коновалова П.А. [27] и Землянского А.А. [28]. Исключив активную коррозию материалов, из которых изготавливаются резервуары, они смогли выделить несколько направлений,

					<i>Изучение вопроса о причинах возникновения неравномерных осадок резервуаров и методы их устранения</i>	<i>Лист</i>
						23
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

из-за которых происходят разрушения. Результатом этих исследований стало выявление шести наиболее активных причин разрушения РВС. Самой весомой причиной разрушения резервуаров стала неравномерная осадка основания резервуаров. Результаты исследований представлены в таблице 2.

Таблица 2. Основные причины разрушений резервуаров

Наименование причины аварии резервуара	Количество аварий	Процент от общего кол-ва аварий, %
Большие неравномерные осадки грунтового основания резервуара	99	46,5
Наличие концентраторов напряжений в конструкциях резервуаров из-за несовершенства конструкций и технологий по сооружению	45	21,1
Ошибки при выполнении аналитических расчетов и в проектировании резервуаров	2	0,9
Наличие дефектов в резервуарах из-за несоответствия применяемого материала сертификационным требованиям	19	8,9
Несоблюдение технологических процессов при изготовлении и строительстве резервуаров	10	4,7
Всего	213	100

Анализ, представленный в работах Тарасенко А.А. [9, 10], подтверждает исследования Коновалова П.А. [27] и Землянского А.А. [28] и выявляет, что одной из основных причин аварий РВС является осадка днища. Тарасенко А.А. скооперировал аварии 46 резервуаров и выделил несколько основных, которые представлены в таблице 3.

Таблица 3. Причины разрешения резервуаров по данным Тарасенко А.А

Наименование причины аварии резервуара	Количество аварий	Процент от общего кол-ва аварий, %
Несоблюдения технологий ремонта	3	6,5

Коррозия	2	4,3
Нарушение технологий на этапе гидроиспытаний	4	8,7
Низкокачественное выполнение сварочных работ	13	28,3
Неравномерная осадка основания	6	13,1
Несоблюдение правил при эксплуатации	11	23,9
Брак строительно-монтажных работ	7	15,2
Всего	46	100

Рассмотрим анализ аварийности, который провели Ханухов Х.М. и Алипов А.В. в [98(сальников)] и охватили 2 периода, с 1965 – 1995 г. и 2002–2010 г. В работу по анализу первого периода вошли 65 аварий, причины которых представлены в таблице 4

Таблица 4. Причины аварий в период с 1965 по 1995 годы

Наименование причины аварии резервуара	Процент от общего кол-ва аварий, %
Хрупкое разрушение	63,1
Пожары и взрывы	12,3
Из-за образования вакуума в резервуаре	7,7
Коррозия	3,1
Неравномерная осадка основания	1,5
Ураганный ветер	1,5
Другие причины	10,8
Всего	100

Анализ причин во втором периоде проводился с использованием периодического издания под названием «Безопасность труда в промышленности». Период с 2002 по 2010 год охватил 54 аварии, причины которых отражены в таблице 5.

Таблица 5. Причины аварий в период с 2002 по 2010 годы

Наименование причины аварии резервуара	Количество аварий	Процент от общего кол-ва аварий, %
Нарушение ППБ при выполнении подготовительных работ по зачистке резервуара	12	24
Нарушение правил эксплуатации резервуара	15	26
Выполнение огневых работ на действующем резервуаре, повлекшее пожар	5	8
Хрупкое разрушение	4	8
Неравномерная осадка днища	3	6
Возгорание при попадании молнии	4	8
Разрушении из-за действия большой снеговой нагрузки (ошибки при расчетах)	2	4
Нарушения при проведении гидро/пневмоиспытаний	2	4
Другие причины	7	12
Всего	54	100

В периодическом издании «Пожарная безопасность зданий, сооружений, объектов» рассматривается статистика аварийности резервуаров в период с 1950 по 2006 года. Авторы Швырков В.С., Горячев С.А. и Сорокоумов В.П. предполагают, что около 80% аварий в это период времени произошли из-за высокого процента износа резервуаров, также авторы выделяют и другие причины, это: неравномерная просадка основания, сложный характер нагружения конструкции, нарушения при выполнении строительно-монтажных работ и другие. РВС-5000 является самым часто разрушаемым резервуаром наряду с остальными, это показано на рисунке 1.

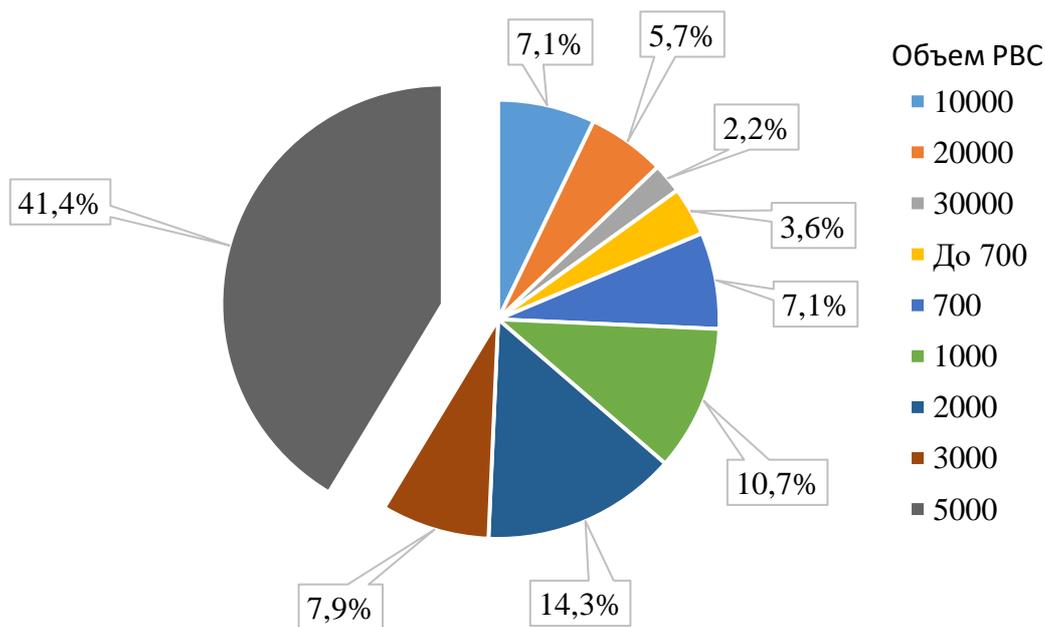


Рисунок 1 – Частота аварий РВС в зависимости от номинального объема

Монография И.М. Розенштейна [30], основанная на многолетнем опыте выполнения экспертиз ЦНИИПСК, в настоящее время является наиболее полным исследованием аварий и разрушений резервуаров. Причины аварийности резервуаров автор разделяет на прямые и косвенные, к прямым он относит:

- хрупкие и вязкие трещины;
- неравномерные осадки;
- дефекты сварных швов;
- пересортица проката.

К косвенным автор относит следующие причины:

- неудовлетворительная организация работ
- неудачные проектные решения
- низкое качество выполнения СМР
- некачественный контроль
- низкое качество материалов

Основываясь на различную отечественную и зарубежную литературу Галеев В.Б. в 1987 году предложил классификацию причин аварий, изображенная на рисунке 2. Но роль того или иного фактора в причине аварии в данной систематизации никак не показана.



Рисунок 2 – Причины аварий РВС по В. Б. Галееву

В результате проведенного анализа статистических данных по возможным причинам аварий резервуаров можно выделить несколько основных:

- неравномерная осадка основания резервуаров;
- несоблюдение технологий при изготовлении и монтаже конструкций РВС;
- несоблюдение ППБ в процессе эксплуатации и при выполнении ремонтных работ;
- хрупкое разрушение резервуаров;
- несоблюдение технологий при проведении гидро/пневмоиспытаний;

– коррозия металла.

В результате всех вышерассмотренных аварий резервуаров (378 аварий) было выявлено, что основной причиной разрушения вертикальных стальных резервуаров является неравномерная осадка оснований, доля которой составляет 28 % от общего числа аварий. На рисунке 3 изображена диаграмма с основными авариями и процентное значение от общего числа приведенных аварий.

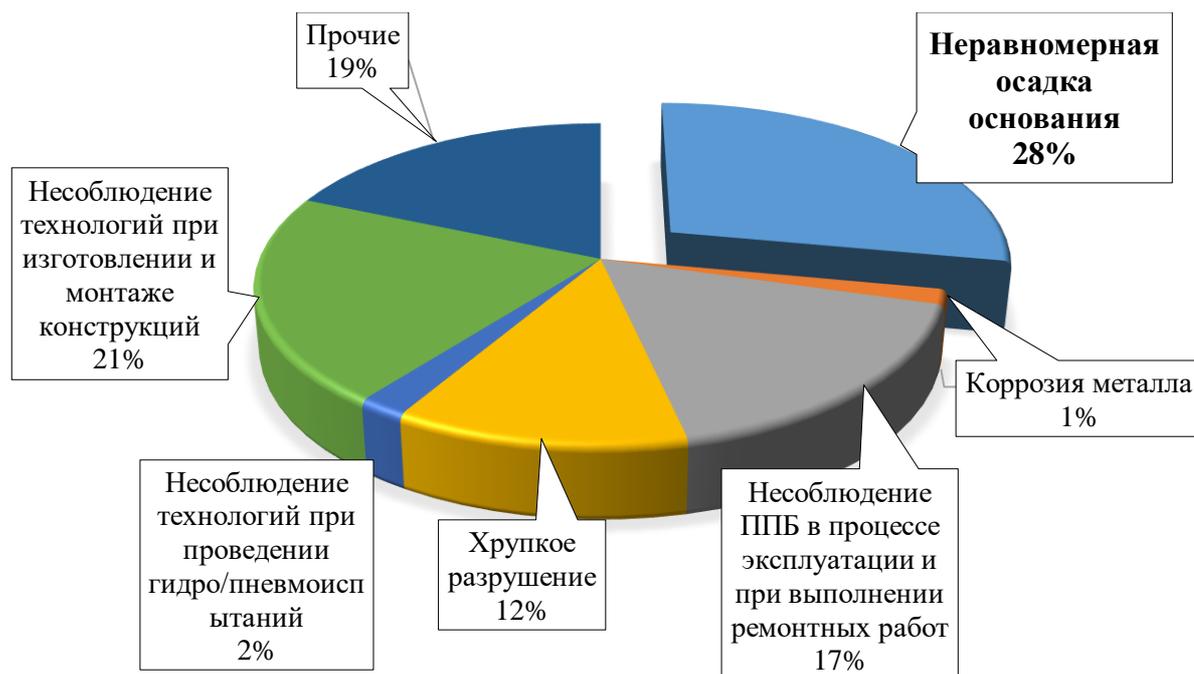


Рисунок 3. Основные причины разрушения РВС

Такие зарубежные компании как Chevron, British Petroleum, ExxonMobil выделяют неравномерную осадку как одну из основных причин аварий и разрушений резервуаров [33].

#### 1.4 Анализ производственных ситуаций вследствие неравномерных осадок и методы их устранения

Рассмотрим несколько примеров разрушения резервуаров в результате неравномерной осадки.

При проведении гидравлических испытаний произошла деструкция РВС-10000 м<sup>3</sup> в пригороде города Одессы. Резервуар был предназначен для хранения мазута. Было установлено, что образовавшаяся трещина разорвала

стенку резервуара, затем произошло разрушения уторного шва, также была оторвана часть крыши в зоне соединения со стенкой. Геодезические измерения показали, что осадка краев резервуара превышала осадку центральной части днища, из-за этого днище служило мембраной, на что оно не рассчитано, и под воздействием растягивающих усилий разорвало окрайки днища [34].

В декабре 1974 г. в Японии, на побережье морского залива, произошла авария РВС-50000 м<sup>3</sup>. Основание резервуара было сложено слабыми грунтами, из-за этого произошла неравномерная осадка и образовался разрыв между днищем и стенкой. Длина дуги разрыва составила 10 м, а раскрытие около 15 см [35].

В январе 1988 г. в США произошло полное разрушение резервуара вместимостью 15000 м<sup>3</sup> в результате неравномерных деформаций грунта. Резервуар принадлежал компании «Ashland» и был предназначен для хранения дизельного топлива. Сразу, после заполнения его топливом, содержимое вылилось наружу, разрушив оболочку и стоящий в 20 метрах резервуар.

Летом 1991 г. произошла авария шести резервуаров на нефтебазе в поселке Усть-Куйга. В уторных швах трех РВС-700 образовались местные выпучивания стенки с угловой деформацией и трещины уторного соединения.

Еще три резервуара вместимостью 2000 м<sup>3</sup> были деформированы по всей высоте монтажного шва, деформация проявлялась между вторым и четвертыми поясами в виде волновой формы. Все резервуары были подвержены неравномерной осадкой по периметру и крен в одном направлении.

Рассмотренные примеры показывают, что из-за произошедших аварий резервуаров при неравномерной осадке оснований потребовались огромные финансовые, трудовые и временные затраты на их восстановление

					<i>Изучение вопроса о причинах возникновения неравномерных осадок резервуаров и методы их устранения</i>	<i>Лист</i>
						30
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

надлежащего состояния, а также на ликвидацию аварийных разливов жидкости, хранящейся в них.

Можно выделить две характерные причины аварии резервуаров, основания которых сложены сильносжимаемыми глинистыми грунтами.

Потеря устойчивости основания резервуара при быстром его заполнении является первой из двух причин. Такие аварии вызывают значительные неравномерные деформации оснований и часто сопровождаются подъемом поверхности грунта как за пределами резервуара, так и в его пределах.

Неравномерные осадки, образование которых произошло в пределах днища, имеют максимальную величину прогиба не в центральной части днища, а в зонах, прилегающих к периметру конструкции.

Для возможного предотвращения данного типа аварий, вызванных нестабилизированным состоянием грунтов, рекомендуется медленное заполнение резервуаров, когда скорость приложения нагрузки не должна превышать скорость консолидации оснований. Такой метод заполнения может исключить использование дорогостоящих и конструктивно-сложных фундаментов особенно для оснований, сложенных глинистыми грунтами с низкими фильтрационными свойствами, но для его реализации потребуется много времени.

Разрушение сварочных швов резервуаров из-за больших прогибов являются второй причиной аварий. В местах, где прогиб имеет максимальную величину, возникают значительные растягивающие напряжения, которые часто превышают допустимые напряжения используемых сталей. Величина прогиба зависит от прочности стали на разрыв и от качества выполнения сварных швов [1].

Если в процессе эксплуатации резервуара произошла осадка основания, то существуют методы по их устранению. Согласно РД-23.020.00-КТН-283-09 с изменениями № 1 «Правила ремонта и реконструкции резервуаров для

					<i>Изучение вопроса о причинах возникновения неравномерных осадок резервуаров и методы их устранения</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		31

хранения нефти объемом 1000-50000 м<sup>3</sup> том 1,2» устранение осадок (равномерных или неравномерных) производится различными методами.

#### 1.4.1 Технология проведения работ по устранению равномерной осадки основания резервуара

Рассмотрения процесса по устранению равномерной осадки резервуара будем осуществлять при двух вариантах исполнения.

1. Резервуары, конструкция фундаментов которых включает (рисунок 4):

- грунтовую подушку
- железобетонный кольцевой фундамент
- гидрофобный слой

2. Резервуары, конструкция фундаментов которых включает: (рисунок 5):

- грунтовую подушку
- гидрофобный слой

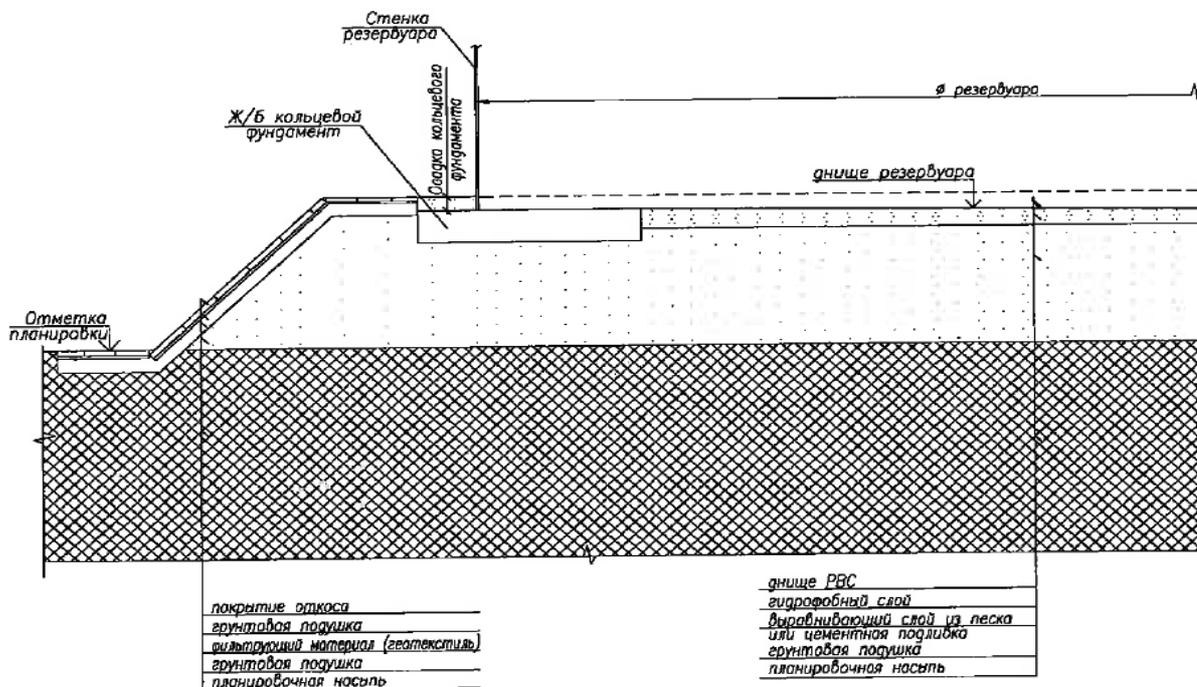


Рисунок 4 – Конструкция фундамента резервуара с ж/б кольцевым фундаментом и схема осадки резервуара

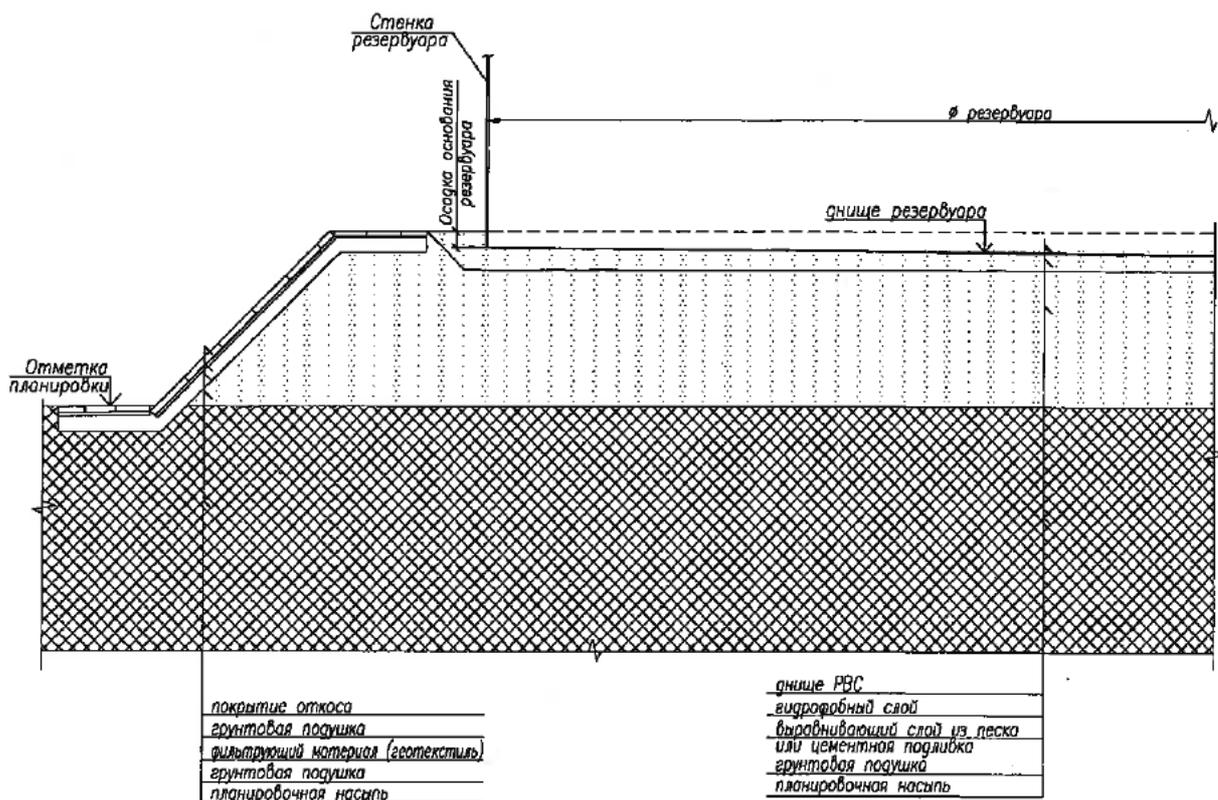


Рисунок 5 – Конструкция фундамента резервуара без ж/б кольцевого фундамента и схема осадки резервуара

Первым этапом в технологии выполнения работ по устранению равномерной осадки резервуара является роспуск сварных швов приварки окраек к днищу РВС. Стенку резервуара поднимают при помощи домкратов. Далее необходимо произвести диагностику металлоконструкций днища резервуара. Если по ее результатам установлена необходимость ремонта днища резервуара, производят его ремонт. Распускают сварные швы между листами днища, листы складывают на отдельных участках. Под днище укладывают выравнивающий слой из песка, уплотняют трамбовкой и укладывают гидрофобный слой. Восстанавливают днище из металлических листов, сваривая их между собой.

Подготовительные работы перед подъемом резервуара:

1. Устанавливают внутри резервуара на втором поясе временное кольцо жесткости.
2. На стенке резервуара снаружи устанавливают с шагом 6 м стойки жесткости. Запрещается приваривать стойки около монтажного шва ближе, чем на 1 м и около вертикальных сварных швов ближе, чем на 0,5 м.

					Изучение вопроса о причинах возникновения неравномерных осадок резервуаров и методы их устранения	Лист 33
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

3. Закрепляют крайки днища у стенки в районе уторного шва приваркой изнутри ребер с шагом 1 м и подкосов в районе расположения стоек жесткости.

4. Снаружи резервуара устанавливают инвентарные опоры под домкраты для равномерного распределения давления под каждой стойкой жесткости.

5. Во время проведения работ устанавливают временный репер на расстоянии не менее 20 м от стенки резервуара, разбивают геодезическую сеть, выполняют нивелирование наружного контура днища. На каждом этапе производят контроль за высотой подъема оптическим или гидравлическим нивелиром. Предпочтительное использование комплекта гидравлических нивелиров с одной емкостью и 12-ю измерительными мензурками, закрепленными у вертикальных сварных швов, в этом случае имеется возможность непосредственного оперативного контроля за ходом подъема резервуара.

Для подъема резервуара устанавливают на опоры домкраты под стойки жесткости (рисунок 6)

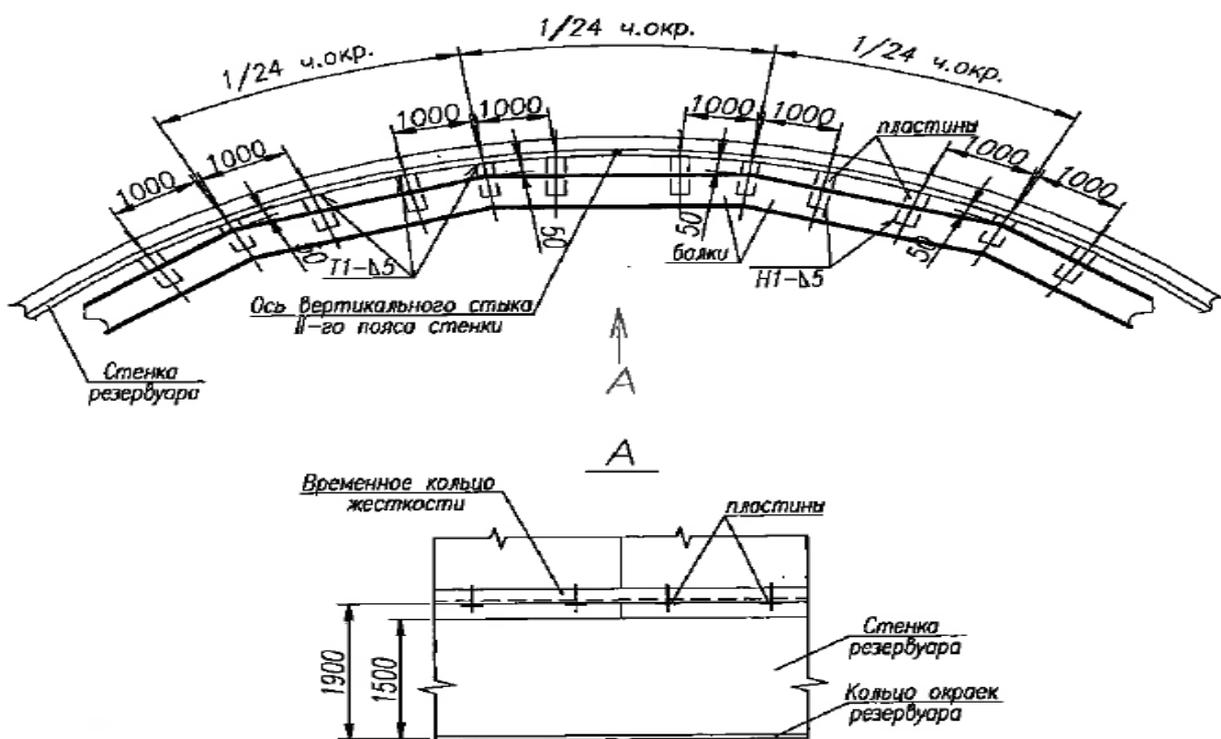


Рисунок 6 – Установка временного кольца жесткости внутри резервуара

Выполняют подъем резервуара, включая в работу все домкраты. Единичный шаговый подъем на каждом домкрате не должен превышать 10 мм. Отрыв краев днища от основания выполняют одновременно всеми домкратами.

После каждого этапа подъема производят опускание резервуара на стальные наборные подставки и выполняют нивелирование наружного контура днища.

Контроль высоты подъема производят оптическим или гидравлическим нивелиром в точках не реже, чем через 6 м по периметру резервуара.

Подъем осуществляется до обеспечения горизонтальности кольца краевой части днища. Необходимое положение резервуара достигается переключением домкратов в различных сочетаниях, но не менее 3-х домкратов одновременно.

После окончания подъема резервуара выполняются ремонтные работы, представленные на рисунках (7,8)

Для резервуаров, имеющих в основании ж/б кольцевой фундамент, между стенкой и поверхностью ж/б кольца укладывают бетонную смесь.

Для резервуаров без ж/б кольца вокруг резервуара устанавливают монолитное бетонное кольцо по бетонной подготовке из бетона В7,5. Верх кольца должен быть ниже основания не менее чем на 50 мм.

При осадке основания менее чем на 100 мм устанавливают отмостку, при осадке более 100 мм осуществляется ремонт отмостки, установку компенсаторов, при необходимости переврезку приемораздаточного патрубка.

					<i>Изучение вопроса о причинах возникновения неравномерных осадок резервуаров и методы их устранения</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		35

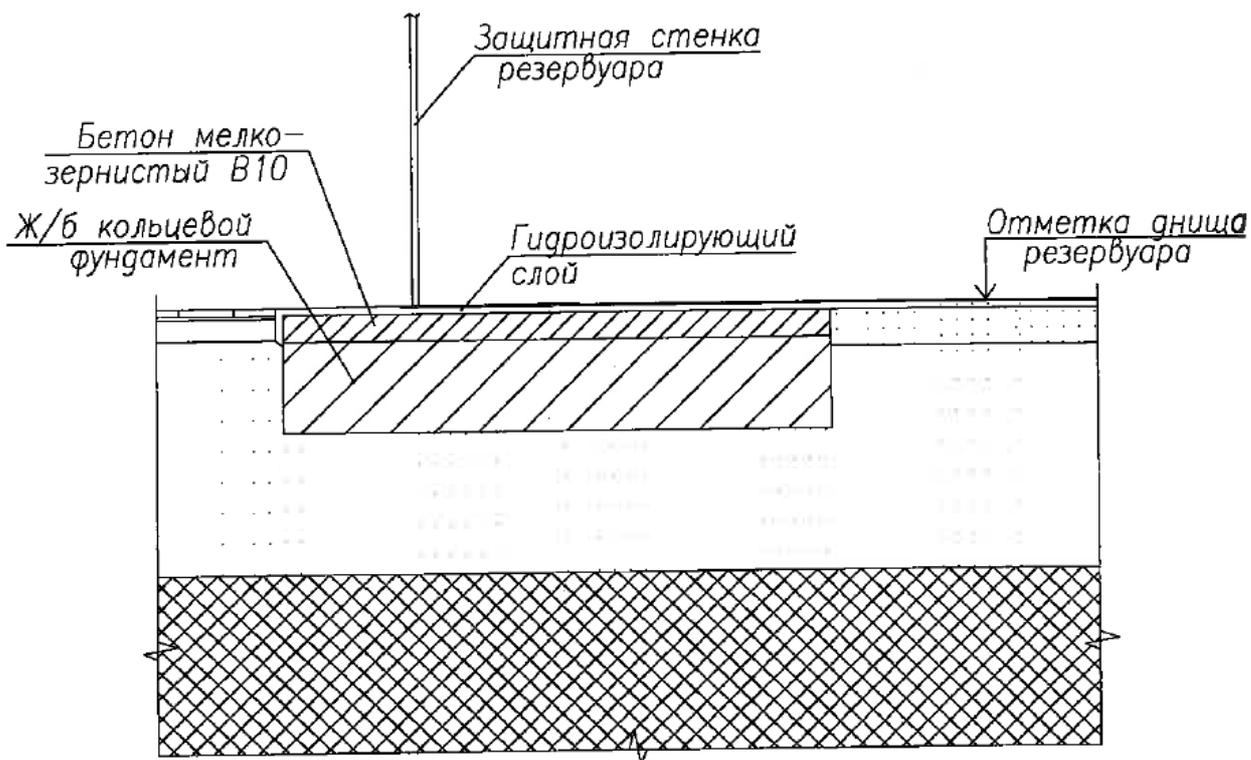


Рисунок 7 – Схема выполнения ремонта для РВС с ж/б кольцевым фундаментом

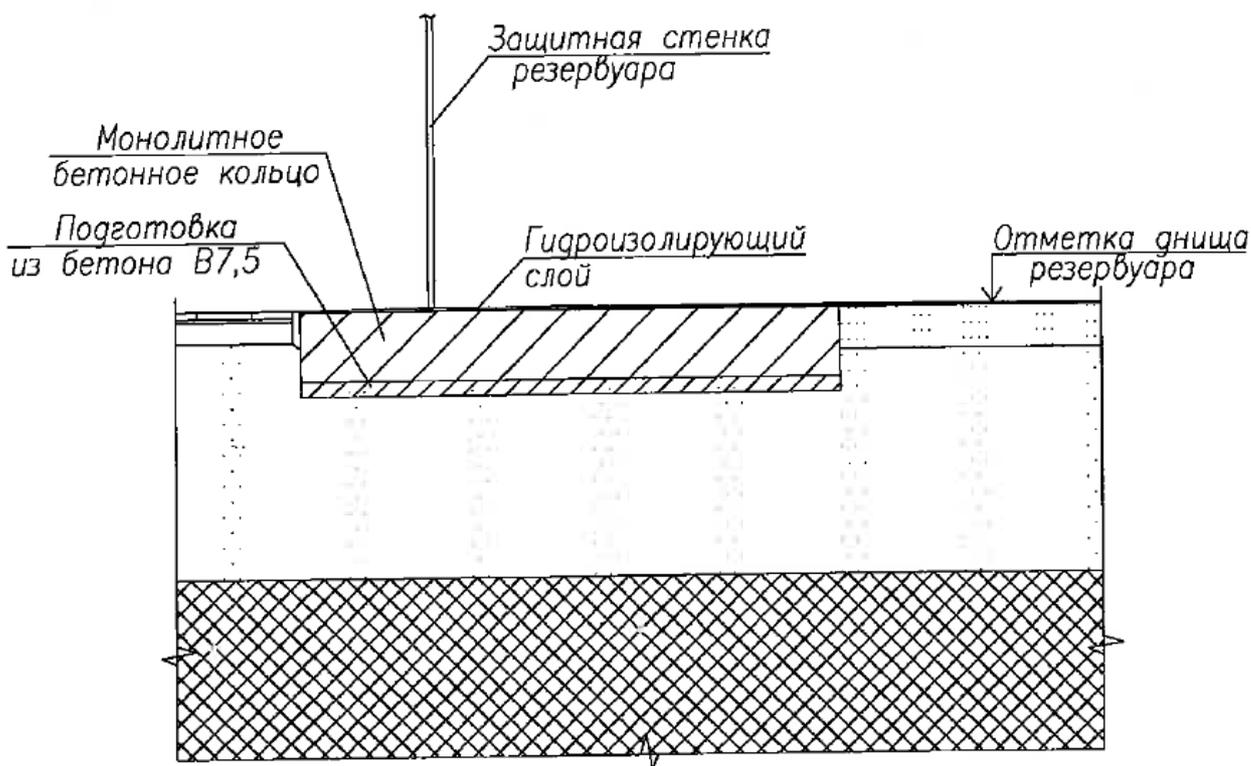


Рисунок 8 – Схема выполнения ремонта для РВС без ж/б кольцевого фундамента

После проведения ремонтно-восстановительных работ резервуар опускают на отремонтированный участок основания и проверяют отметки наружного контура дна. Удаляют домкраты и демонтируют всю

					Изучение вопроса о причинах возникновения неравномерных осадок резервуаров и методы их устранения	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		36

монтажную оснастку. Все места резов монтажных приспособлений контролируют методом цветной или магнитопорошковой дефектоскопией. Далее выполняют сварку и контроль центральной части днища с крайками резервуара. После сварки производится обследование металлоконструкций резервуара.

#### 1.4.2 Технология проведения работ по устранению неравномерной осадки основания резервуара

В данном случае также будет рассмотрено два варианта исполнения резервуаров.

1. Резервуары, конструкция фундаментов которых включает в себя (рисунок 9):

- грунтовую подушку
- железобетонный кольцевой фундамент
- гидрофобный слой

2. Резервуары, конструкция фундаментов которых включает в себя (рисунок 10):

- грунтовую подушку
- гидрофобный слой

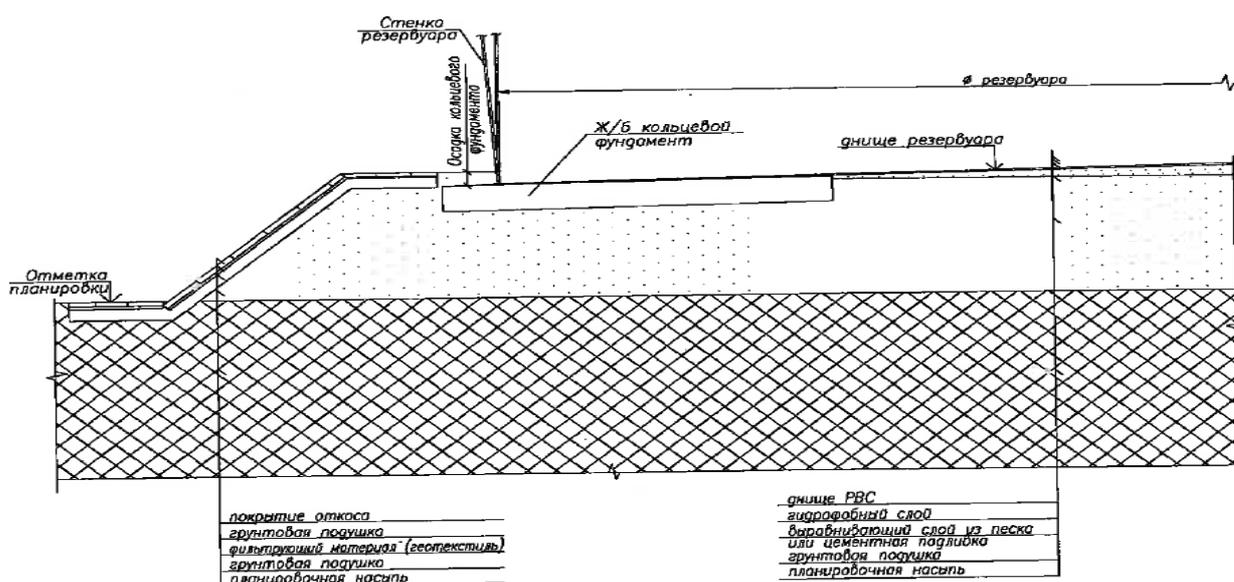


Рисунок 9 – Конструкция фундамента резервуара с ж/б кольцевым фундаментом и схема осадки резервуара

					Изучение вопроса о причинах возникновения неравномерных осадок резервуаров и методы их устранения	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		37

На участке осадки резервуара равномерно устанавливают расчетное количество домкратов со смещением относительно сварных швов стенки.

Резервуар поднимают выше просадки в соответствии с проектом для обеспечения укладки грунтовой или бетонной смеси и компенсации просадочных явлений (подъем резервуара подробно рассмотрен в 1.4.1). После каждого этапа подъема выполняют нивелирование наружного контура днища и проводят контроль вертикальности образующих стенки резервуара.

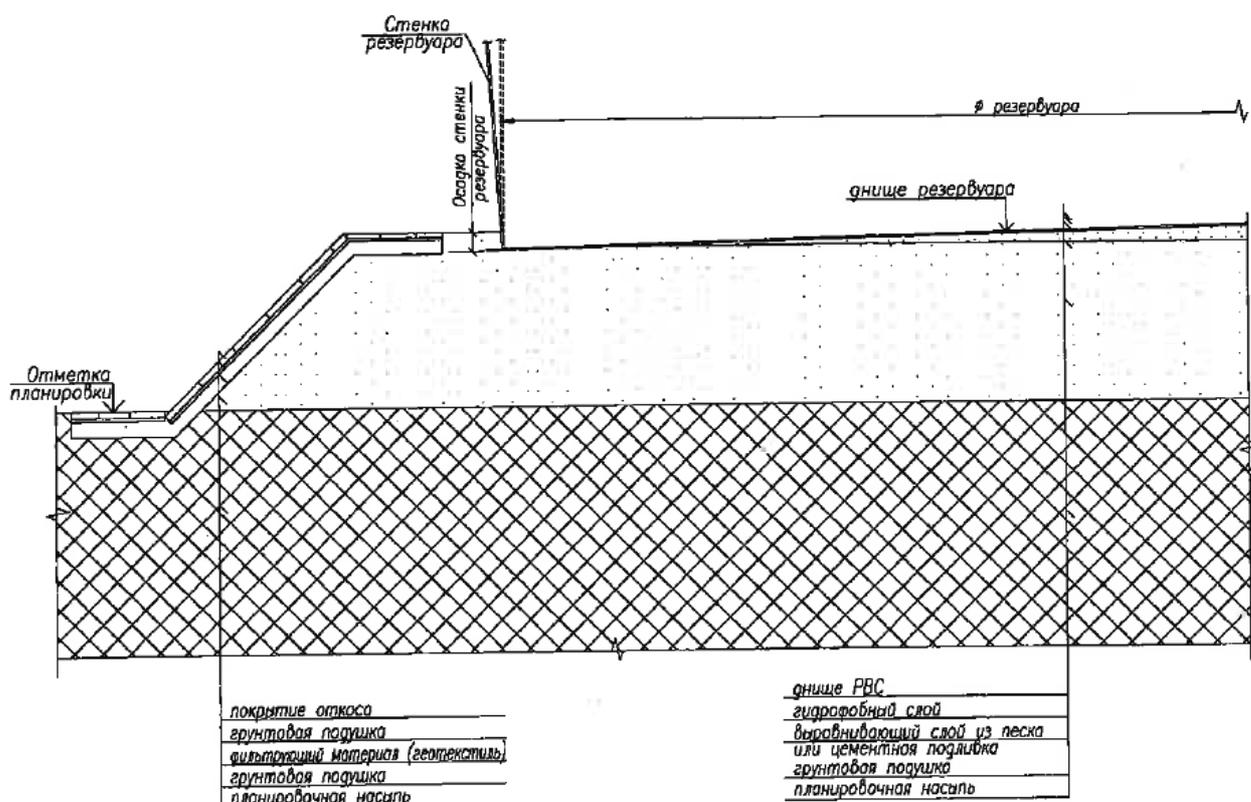


Рисунок 10 – Конструкция фундамента резервуара без ж/б кольцевого фундамента и схема осадки резервуара

Для резервуаров с ж/б кольцевым фундаментом полость между стенкой и ж/б кольцом заполняют бетонной смесью (рисунок 11).

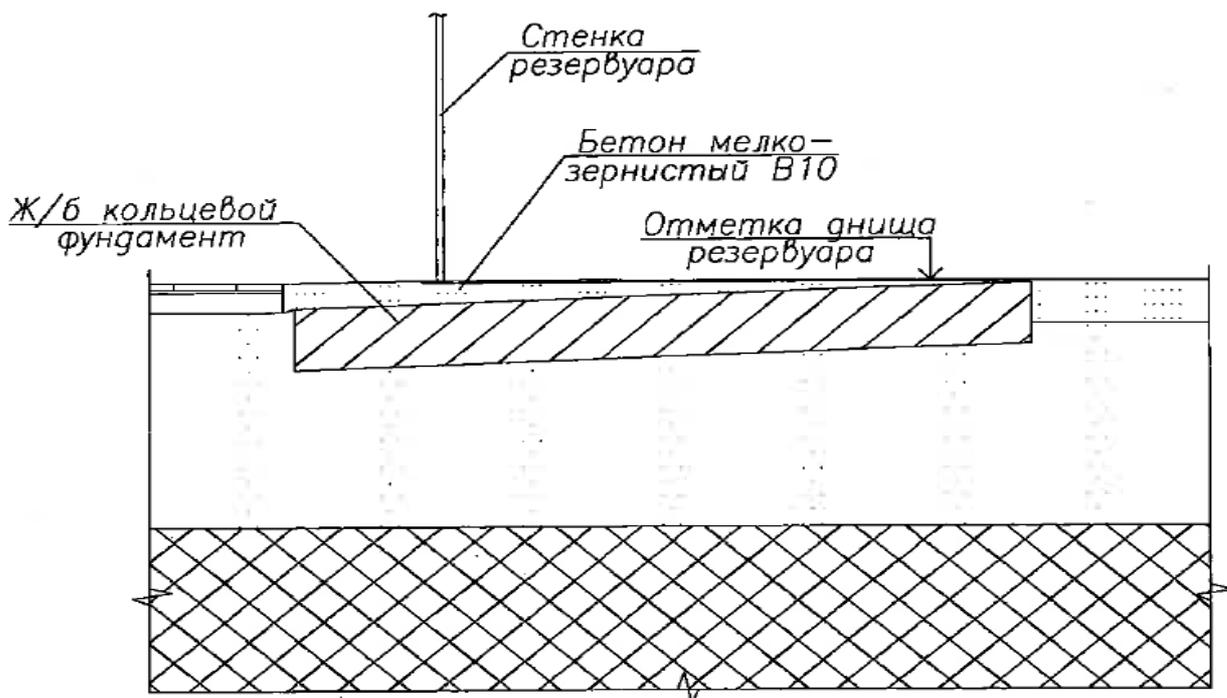


Рисунок 11 – Схема выполнения ремонта для РВС с ж/б кольцевым фундаментом

Для резервуаров без ж/б кольцевого фундамента под стенку подбивают грунтовую смесь (супесчаный грунт, пропитанный битумом). Схема выполнения ремонта для РВС без ж/б кольцевого фундамента представлена на рисунке 12.

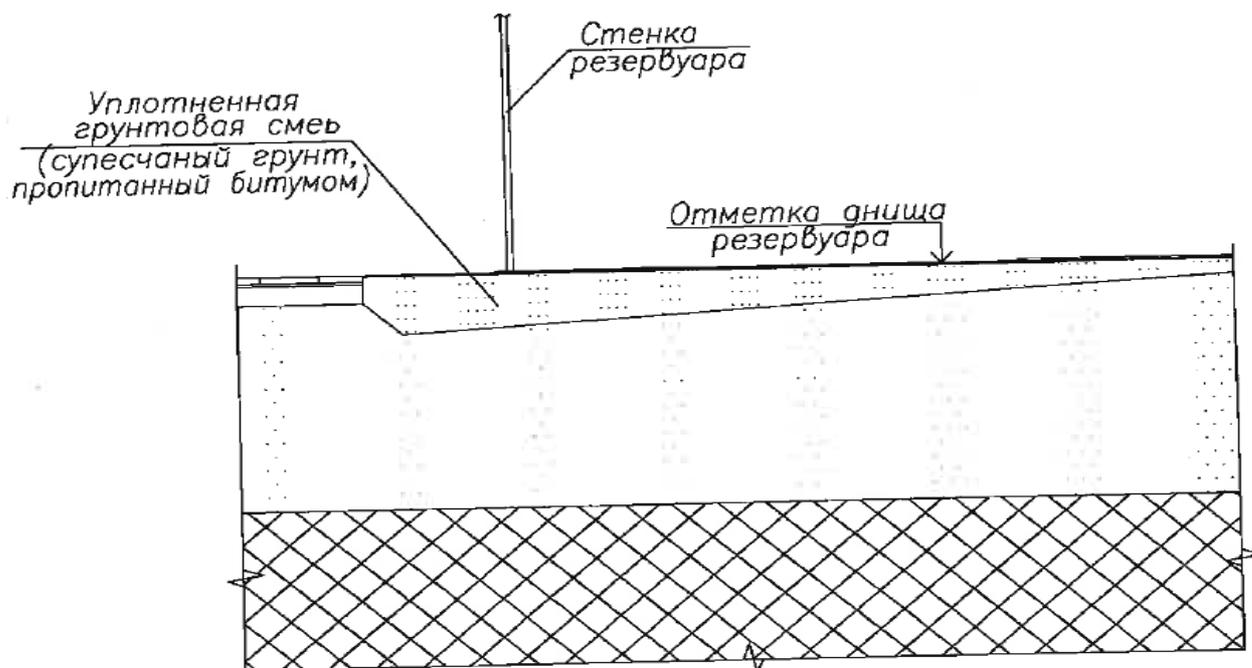


Рисунок 12 – Схема выполнения ремонта для РВС без ж/б кольцевого фундамента

После выполнения ремонтных работ резервуар опускают на основание или фундамент. Места после удаления технологических приспособлений подлежат дополнительному контролю [36-37].

Таким образом, для предотвращения преждевременного выведения резервуара в ремонт и затрат на его выполнение, необходимо следить за техническим состоянием РВС. Для выявления реального технического состояния резервуара и принятия решения о проведении ремонтных работ необходимо оценить его НДС под действием эксплуатационных нагрузок с учетом их действительного пространственного положения и геометрической формы.

					<i>Изучение вопроса о причинах возникновения неравномерных осадок резервуаров и методы их устранения</i>	<i>Лист</i>
						40
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

## Глава 2. Аналитический и численный методы расчета резервуара

### 2.1 Аналитический метод расчета напряженно-деформированного состояния резервуара.

Аналитический метод расчета напряженно-деформированного состояния резервуара является частной задачей общей теории цилиндрической оболочки. Рассмотрим задачу деформации цилиндрической оболочки со стенками разной толщины, находящуюся под действием осесимметричной гидростатической нагрузки. Решение таких задач сводится к дифференциальному уравнению (1) согласно [38]:

$$\frac{d^4 w}{dx^4} + 4\beta^4 w = \frac{Z}{D} \quad (1)$$

где  $Z$  – компонента интенсивности действия внешней нагрузки на оболочку параллельную оси  $x$ , Па;

$D$  – цилиндрическая жесткость оболочки при изгибе, кг·м;

$\beta$  – коэффициент деформации стенки, 1/м;

$w$  – перемещение в радиальном направлении перпендикулярно оси резервуара, м;

$x$  – координата стенки РВС по высоте, м

Общее решение уравнения изгиба цилиндрической оболочки (1) имеет вид:

$$w = e^{\beta x}(C_1 \cos \beta x + C_2 \sin \beta x) + e^{-\beta x}(C_3 \cos \beta x + C_4 \sin \beta x) + f(x) \quad (2)$$

где  $f(x)$  – частное решение уравнения (1);

$C_{1...4}$  – постоянные интегрирования, которые определяются в каждом частном случае из условий на концах цилиндрической оболочки.

					Исследование напряженно-деформированного состояния резервуара вертикального стального типа РВС-5000 куб.м при развитии неравномерных осадок его основания			
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата				
Разраб.		Асанов А.В.			Аналитический и численный методы расчета резервуара	Лит.	Лист	Листов
Руковод.		Шадрина А.В.					41	124
Консульт.						ТПУ, ИШПР Группа 2БМ72		
Рук-ль ООП		Шадрина А.В.						

На рисунке 13 представлена расчетная схема в области уторного шва резервуара.

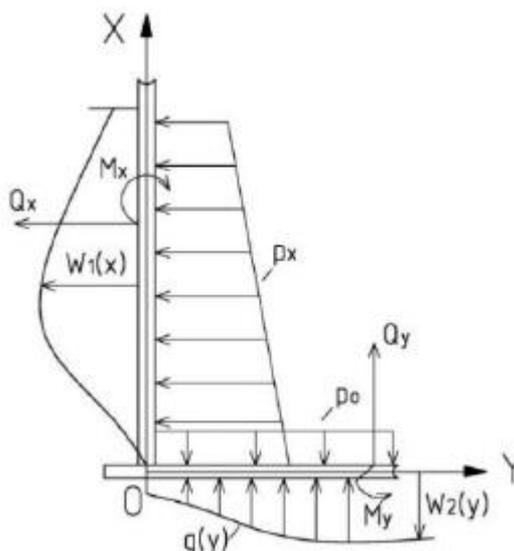


Рисунок 13 – Расчетная схема в области уторного соединения резервуара

где  $W_{1(x)}$  – радиальное перемещение стенки, м;

$W_{2(y)}$  – вертикальное перемещение стенки, м;

$p_x = p_0(1-x/H)$  – давление жидкости на отметке  $x$ , Па;

$p_0$  – давление жидкости при  $x = 0$ , Па;

$q(y)$  – реактивный отпор грунта под днищем, Н;

$M_x, M_y, Q_x, Q_y$  – изгибающие моменты и поперечные силы в стенке и днище, кг/м, кг·м.

Для решения уравнения (1), необходимо определить компоненту интенсивности действия внешней нагрузки на оболочку.

$$Z = -\gamma(d - x) \quad (3)$$

где  $\gamma$  – плотность хранимой нефти в резервуаре, кг/м<sup>3</sup>;

$d$  – высота стенки резервуара, м.

Подставляем (3) в (1) и получаем:

					Аналитический и численный методы расчета резервуара	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		42

$$\frac{d^4 w}{dx^4} + 4\beta^4 w = \frac{-\gamma(d-x)}{D} \quad (4)$$

Находим частный интеграл от уравнения (4):

$$w_1 = \frac{-\gamma(d-x)d^4 w}{4\beta^4 d} = \frac{-\gamma(d-x)a^2}{Eh} \quad (5)$$

где  $a$  – диаметр резервуара, м;

$E$  – модуль упругости при растяжении и сжатии стали 09Г2С, Па;

$h$  – толщина стенки, м.

Выражение (5) математически описывает радиальное расширение резервуара со свободными торцами под воздействием кольцевых напряжений. Для того чтобы получить общее решение уравнения (4) подставим уравнение (5) в выражение (2) и получим:

$$w = e^{\beta x}(C_1 \cos \beta x + C_2 \sin \beta x) + e^{-\beta x}(C_3 \cos \beta x + C_4 \sin \beta x) - \frac{\gamma(d-x)a^2}{Eh} \quad (6)$$

Так как толщина стенки резервуара  $h$  мала, если ее сравнивать с радиусом  $d$  и высотой резервуара  $a$ , то можем принять оболочку бесконечно длинной, при этом постоянные величины  $C_1$  и  $C_2$  обращаются в ноль, тогда получим выражение:

$$w = e^{-\beta x}(C_3 \cos \beta x + C_4 \sin \beta x) - \frac{\gamma(d-x)a^2}{Eh} \quad (7)$$

Величины  $C_3$  и  $C_4$  определяем из условий, характеризующих геометрию днища резервуара. Предположим, что нижний край стенки резервуара заземлен абсолютно жестким фундаментом, то граничные условия примут вид:

$$(w)_{x=0} = C_3 - \frac{\gamma a^2 d}{Eh} = 0 \quad (8)$$

$$\left(\frac{dw}{dx}\right)_{x=0} = [-\beta C_3 e^{-\beta x}(\cos\beta x + \sin\beta x) + \beta C_4 e^{-\beta x}(\cos\beta x - \sin\beta x) + \frac{\gamma a^2}{Eh}]_{x=0} = \beta(C_4 - C_3) + \frac{\gamma a^2}{Eh} = 0 \quad (9)$$

Получаем значения коэффициентов  $C_3$  и  $C_4$ :

$$C_3 = \frac{\gamma a^2 d}{Eh}; C_4 = \frac{\gamma a^2}{Eh} \left(d - \frac{1}{\beta}\right) = 0 \quad (10)$$

Прогиб по высоте резервуара можно вычислить путем подставления выражения (10) в уравнение (7):

$$w = -\frac{\gamma a^2}{Eh} \left\{ d - x - e^{-\beta x} \left[ d \cos\beta x + \left(d - \frac{1}{\beta}\right) \sin\beta x \right] \right\} \quad (11)$$

Если выражение (11) умножить на частное от деления модуля Юнга на радиус резервуара, то получим выражение для определения напряжений в стенке по высоте резервуара:

$$\sigma = -\frac{\gamma a}{h} \left\{ d - x - e^{-\beta x} \left[ d \cos\beta x + \left(d - \frac{1}{\beta}\right) \sin\beta x \right] \right\} \quad (12)$$

Используя выражения (11) и (12) рассчитаем значения прогибов и напряжений в стенке резервуара через каждые 25 см, для более точного сравнения аналитического метода расчета с численным. Исходные данные для выполнения расчетов представлены в таблице 6.

Таблица 6. Исходные данные

Сталь	09Г2С
Модуль упругости (E)	$2 \cdot 10^{11}$ Па
Коэффициент Пуассона ( $\mu$ )	0,3
Плотность нефти ( $\gamma$ )	870 кг/м <sup>3</sup>
Радиус стенки резервуара (a)	11,4 м
Высота стенки резервуара (d)	12 м
Планируемая высота расчета (x)	0,25 м; 0,5 м; 0,75 м..., 12 м
Толщина 1-ого пояса ( $h_1$ )	0,009 м

Толщина 2-ого пояса ( $h_2$ )	0,008 м
Толщина 3-8 поясов ( $h_{3-8}$ )	0,007 м

Для определения напряжений и прогибов стенки резервуара по его высоте необходимо найти коэффициенты деформаций стенки  $\beta$ :

$$\beta = \sqrt[4]{\frac{K}{4D}} \quad (13)$$

Для нахождения коэффициента деформации сначала найдем значения цилиндрической жесткости  $D$  по формуле:

$$D = \frac{E \cdot h}{12 \cdot (1 - \mu^3)} \quad (14)$$

После нахождения цилиндрической жесткости найдем значения коэффициент постели  $K$  по формуле:

$$K = \frac{E \cdot h}{a^2} \quad (15)$$

Результаты вычислений представлены в таблице 7.

Таблица 7. Результаты вычислений

х, см (высота стенки)	h, мм, (толщина стенки)	D, кг·см (цилиндрическая жесткость)	K, кг/см <sup>3</sup> (кф. постели)	$\beta$ , 1/см (кф. деформ. стенки)	w, мм (прогиб стенки)	$\sigma$ , МПа (напряжен ия в стенке)
0	9	168085,1	1,41	0,03807	0,00000	0,00
200	8	149409,0	1,26	0,03807	6,92507	121,49
400	7	130732,8	1,10	0,03807	6,33595	111,16
600	7	130732,8	1,10	0,03807	4,75196	83,37
800	7	130732,8	1,10	0,03807	3,16797	55,58
1000	7	130732,8	1,10	0,03807	1,58399	27,79
1200	7	130732,8	1,10	0,03807	0,00000	0,00

Графически изобразим график зависимости величины прогибов (рисунок 14) и действующих напряжений (рисунок 15) от высоты стенки резервуара.

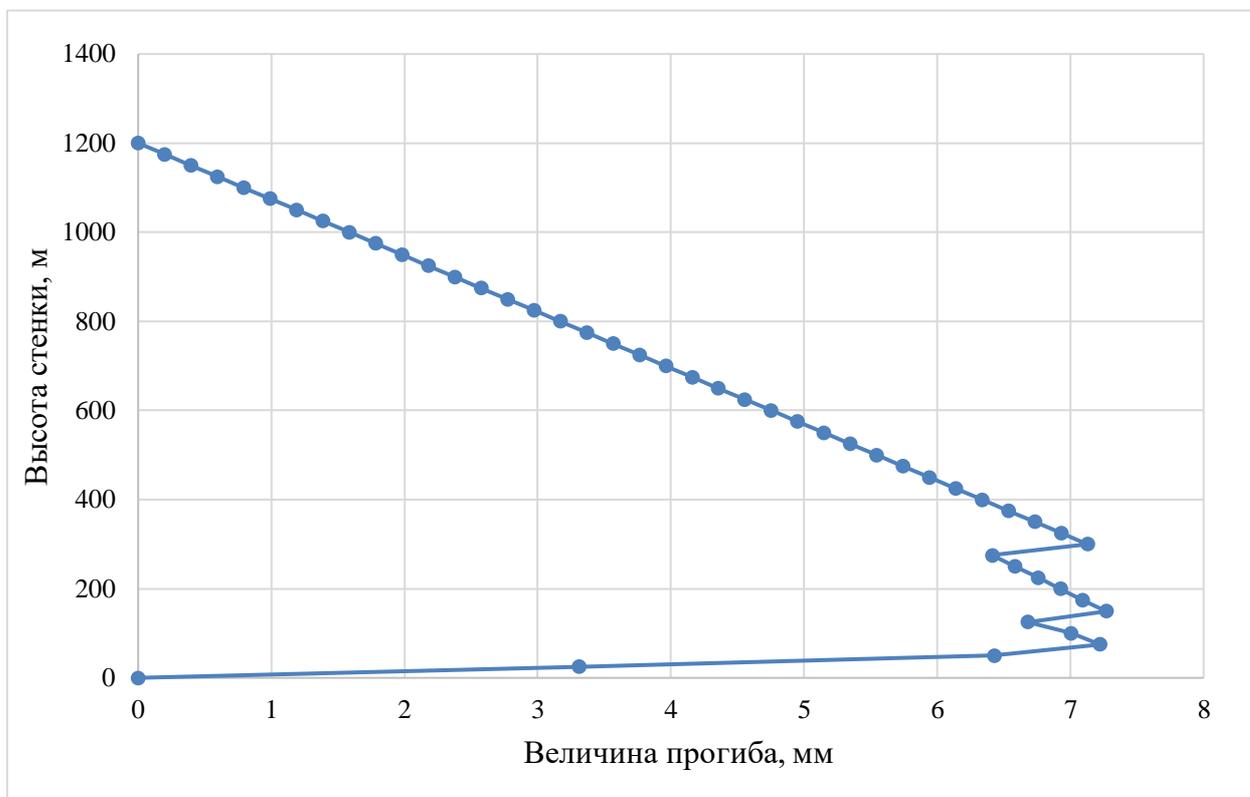


Рисунок 14 – График зависимости перемещений стенки резервуара в радиальном направлении

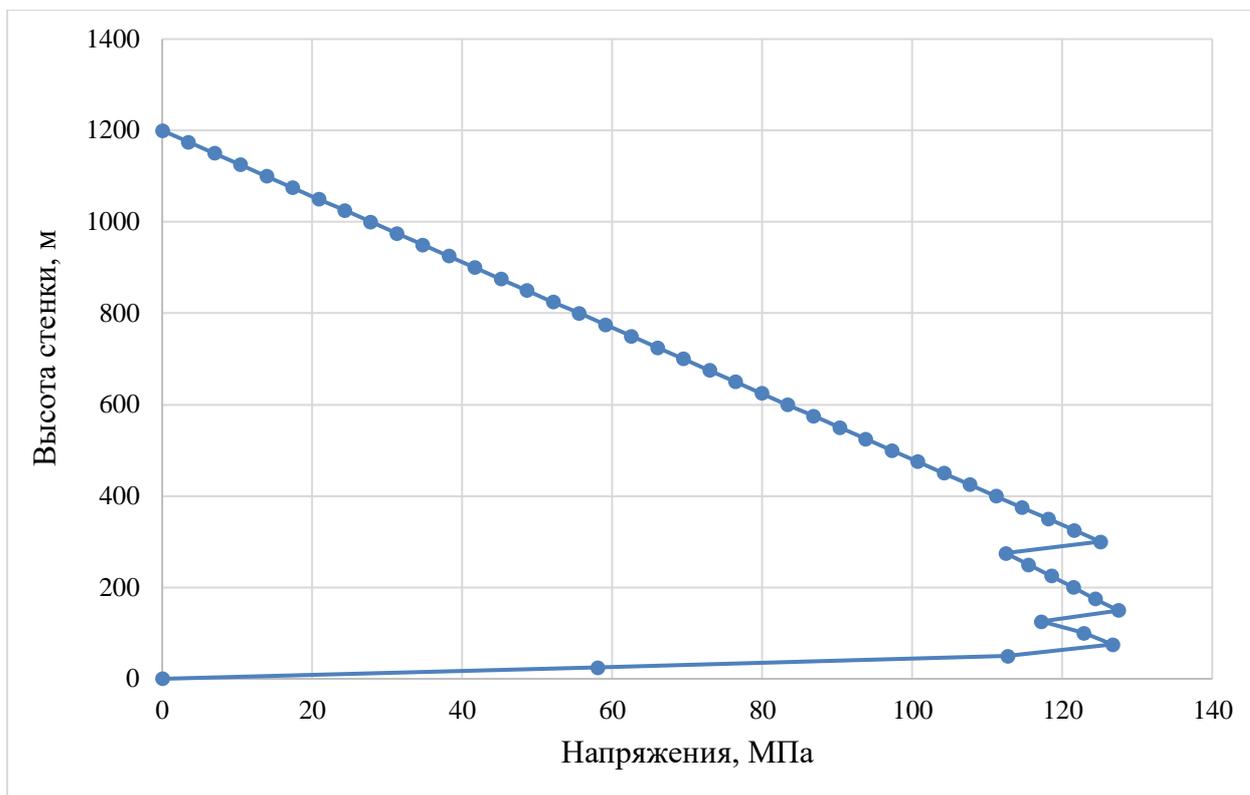


Рисунок 15 – График зависимости действующих напряжений в стенке от высоты

При выполнении аналитического метода расчета напряженно-деформированного состояния необходимо подчеркнуть, что область его применения ограничена, так как данный метод используется при расчетах напряжений и прогибов в стенке в том случае, когда рассматривается осесимметричное нагружение. Но, в практике зачастую появляется потребность в расчете напряженно-деформированного состояния при неосесимметричной постановке задачи, с учетом всевозможных условий нелинейности объекта. В таких случаях аналитический способ вычисления НДС является некорректным, так как невозможно получить адекватные результаты реального состояния конструкций резервуаров. При таких обстоятельствах рекомендуется использовать численные методы расчета НДС, основа которых состоит в конечно-элементной реализации рассматриваемых объектов в программном комплексе. В данной работе мы будем использовать программное обеспечение ANSYS (версия 19.2).

## 2.2 Численный метод расчета напряженно-деформированного состояния резервуара. Конечно-элементная модель РВС-5000.

Метод конечных элементов (МКЭ) является численным методом, позволяющий решать обширный диапазон задач, формулировка которых производится с помощью систем дифференциальных уравнений. МКЭ позволяет анализировать напряженно-деформированное состояние различных конструкций, выполненных из металла, бетона и других материалов. Метод сил, метод перемещений в настоящее время являются предшественниками метода конечных элементов, в которых для вычисления используется дискретизация. Расширение области применения метода конечных элементов произошло тогда, когда для его обоснования начали использовать методы наименьших квадратов и метод взвешенных невязок – Галёркина, таким образом данный метод стал универсальным способом для решения систем ДУ.

Рассматриваемый геометрический объект разбивается на конечные элементы, тем самым образуя сетку из границ элементов. Точки пересечения границ элементов сетки образуют узлы, что способствует созданию общей КЭ модели рассматриваемого объекта. От вида напряженно-деформированного состояния и геометрической формы рассматриваемого объекта зависят форма, тип и размер КЭ. Конечные элементы бывают оболочечными, стержневыми, кольцевыми, двумерными, трехмерными и имеют разнообразные свойства, задающиеся при помощи констант и настроек. Элементы и узлы конечного элемента имеют глобальную и локальную нумерации, существование которых позволяет достигать наименьших усилий при вычислениях. В процессе решения задачи определяются массивы связей между номерами узлов и элементов. При решении задач с различными физическими величинами с применением МКЭ в затрагиваемой области необходимо установить материалы элементов, а также задать физико-механические свойства. При рассмотрении деформаций

					Аналитический и численные методы расчета резервуара	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		48

необходимо учесть такие упругие свойства объектов, как модуль упругости и коэффициент Пуассона. Если имеются пластические деформации, то нужно задать диаграммы деформирования для реальных материалов, которые аппроксимируются мультилинейными или билинейными кривыми.

Состояние объекта характеризуется степенями свободы. Степень свободы – это конечное число независимых параметров, определение которых происходит в узлах конечно-элементной сетки модели. Перемещения и координаты узлов, точки элемента и силы могут определяться разных системах координат, местной (связана с конкретными элементами) или глобальной. При помощи матриц преобразования можно перейти от одной системы отсчета к другой.

Общая система уравнений равновесия всей КЭ модели анализируемого твердо-деформируемого тела составляется с помощью вариационных принципов и методов невязок или из условий равновесия узлов. При рассмотрении задач статики такая система имеет вид:

$$[K]\{U\} = \{P\} + \{P\}^q + \{P\}^g + \{P\}^{\varepsilon 0} + \{P\}^{\sigma 0}, \quad (16)$$

где  $[K]$  – глобальная матрица жесткости конечно-элементной модели;

$\{U\}$  – глобальный вектор, который определяет набор степеней свободы рассматриваемой модели;

$\{P\}$  – глобальный вектор заданных внешних узловых сил;

$\{P\}^q$ ,  $\{P\}^g$ ,  $\{P\}^{\varepsilon 0}$ ,  $\{P\}^{\sigma 0}$  – глобальные векторы узловых сил, эквивалентные распределенным массовым и поверхностным силам, начальным напряжениям и деформациям.

Коэффициенты жесткости модели  $[K]$  находятся путем сложения соответствующих коэффициентов жесткости конечных элементов, а глобальный вектор заданных внешних узловых сил  $\{P\}$  можно расписать в виде:

$$\{P\} = \begin{Bmatrix} P \\ \cdot \\ \cdot \\ P_s \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ P_N \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} P_1 \\ \dots \\ P_i \\ \dots \\ P_n \end{Bmatrix}, \quad (17)$$

Где  $P_i = \{P_i\}$  – представляет собой подматрицу из  $n_i$  компонентов силы, которые приложены в узле  $i$ , если рассматривать случай трехмерной задачи, то выражение будет выглядеть иначе:  $\{P_i\} = \{P_{ix} P_{iy} P_{iz}\}^T$ .

Выражение (16), которое было получено с помощью метода конечных элементов для статической линейно-упругой модели, можно интерпретировать как СЛАУ (система линейных алгебраических уравнений). После того, как учли наложенные связи, которые не допускают движения модели тела, определитель матрицы жесткости  $[K]$  не равен нулю, из-за этого становится возможным только единственное вычисление – общий вектор узловых перемещений  $\{U\}$ . От свойств и структуры (размер, заполненность, симметричность) матрицы  $[K]$  зависит продуктивность решения системы линейных алгебраических уравнений.

Существует 2 метода-алгоритма для решения СЛАУ, итерационный и прямой. Прямой метод-алгоритм решения завязан на получении, с использованием конечного числа операций, точных значений неизвестных в том случае, если правые части уравнений и коэффициенты заданы точно и округления в вычислениях отсутствуют.

При использовании итерационных методов вначале задаются некоторыми приближенными значениями искомых величин, а далее, при использовании разных алгоритмов их последовательно уточняют, тем самым приближаясь к точному решению. Наиболее часто в практике применяют метод прямой итерации.

Рассматриваемая КЭ модель РВС-5000 является нелинейной, так как геометрическая нелинейность при деформации обусловлена большими перемещениями. Нелинейные постановки задач решаются с применением итерационных методов и рассмотрением квазилинейных уравнений в каждой итерации.

Создавать численную модель РВС-5000 методом конечных элементов будем в программном обеспечении ANSYS, которое позволяет решать обширный диапазон задач в области механики твердо-деформируемого тела. Для исследования напряженно-деформируемого состояния применим интерактивный режим программного обеспечения ANSYS, который позволяет использовать платформу Workbench. Решение будем производить в 3 этапа.

На первом этапе выполняются работы по созданию конечно-элементной модели РВС-5000. В первый этап входят такие работы как:

- выбор физического типа задачи и настройка программы под выбранный тип задачи (механика твердого деформируемого тела);
- выбор типа КЭ и других его свойств и задаются некоторые характеристики элемента;
- выбор материала и его характеристик для рассматриваемого объекта;
- построение геометрической модели объекта, которая создается при помощи встроенного модуля DesignModeller или SpaceClaim;
- разбиение геометрической модели на конечные элементы (создание сетки);
- установление контактных пар.

На втором этапе выполняется процесс наложения на модель граничных условий и решение задачи:

- задание граничных условий – сил, заземлений, перемещений и т.д.;
- выбор типа анализа (статический, динамический);
- выбор метода решения системы уравнений МКЭ;

					<i>Аналитический и численные методы расчета резервуара</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		51

- задание параметров вычислительных операций (число интераций, шагов нагружения);
- выполнение решения системы уравнений.

На третьем этапе выполняется анализ и обработка полученных результатов [39].

### 2.2.1 Геометрическое моделирование РВС-5000 в SpaceClaim

Для реализации конечно-элементной модели РВС-5000 в программной системе ANSYS необходимо разработать основные элементы резервуара, которые соответствуют реальным техническим и геометрическим характеристикам. Вертикальный стальной резервуар объемом 5000 м<sup>3</sup> изготовлен из стали марки 09Г2С и расположен в Уватском районе Тюменской области на территории дожимной насосной станции (ДНС) нефтегазового месторождения. РВС-5000 является аварийным и используется только в тех случаях, когда УПН по каким-либо причинам не может принимать нефть. В таблице 8 представлены основные характеристики резервуара, которые были использованы при построении геометрической модели.

Таблица 8. Основные характеристики РВС-5000

Параметр	Значение	Единица изм.
Диаметр резервуара	22800	мм
Высота стенки	12000	мм
Высота стационарного покрытия (7.80°)	1500	мм
Ширина окрайки	650	мм
Толщина 1-го пояса стенки	9	мм
Толщина 2-го пояса стенки	8	мм
Толщина 3-8-го поясов стенки	7	мм
Толщина листов центральной части днища	6	мм
Толщина листов окрайки	9	мм
Толщина листов настила кровли	5	мм
Величина выступа окрайки	50	мм
Высота 1-8 поясов стенки	1500	мм
Проектная высота взлива	10800	мм
Плотность хранимой нефти	870	кг/м <sup>3</sup>
Снеговая нагрузка	1650	Па
Вакуумметрическое / избыточное давление в газовом пространстве РВС	0,25/2	кПа

					<i>Аналитический и численный методы расчета резервуара</i>	<i>Лист</i>
						52
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

Построение геометрии модели резервуара в программе ANSYS реализовано в модуле SpaceClaim. В схематике проекта создаем компонент «геометрия» и переходим к его редактированию с помощью модуля SpaceClaim.

Для геометрического моделирования стенки строится эскиз, включающий в себя окружность заданного диаметра (см. рисунок 16). Изначально SpaceClaim открывается в режиме работы с эскизом в плоскости ZX. В ней и рисуем окружность нужного диаметра, привязываясь курсором к началу системы координат.

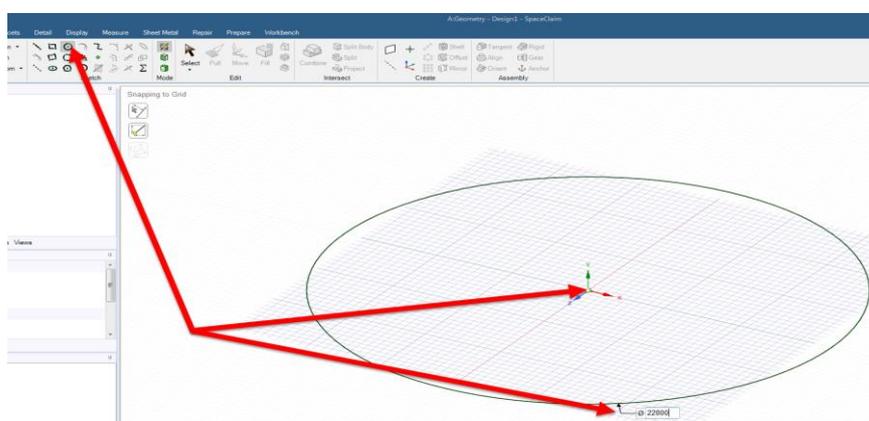


Рисунок 16 – Создание окружности заданного диаметра в плоскости ZX

Для вытягивания оболочки используется команда Pull примененная к контуру полученного круга. Круг (поверхность) образуется при переходе от эскизного вида к 3D mode. Это можно сделать принудительно в графе Mode или это произойдет автоматически при использовании команды Pull, (см. рисунок 17). Следует так же указывать направления вытягивания (для получения цилиндра или изменения диаметра круга), т.к. SpaceClaim – модуль прямого моделирования.

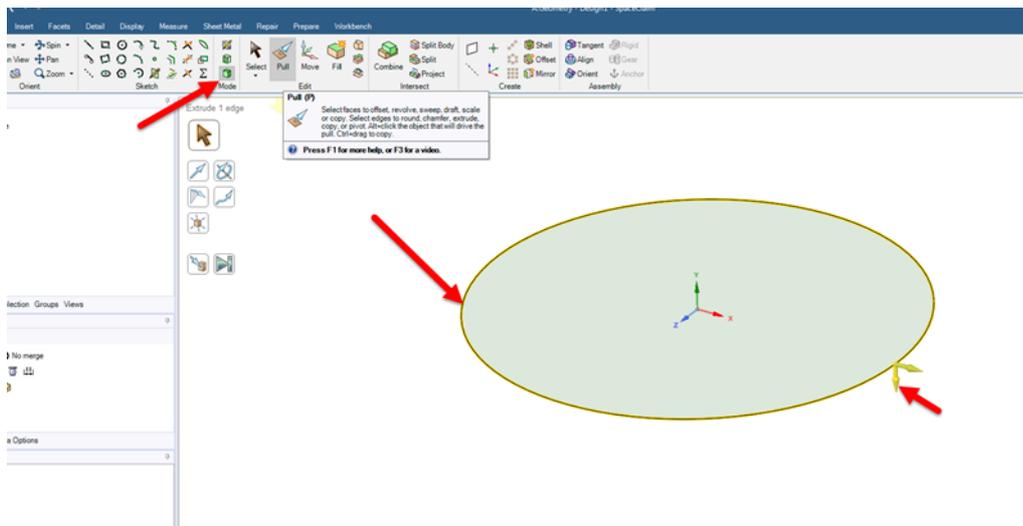


Рисунок 17 – использование команды Pull

При вытягивании следует указать расстояние вытягивания, равное высоте первого пояса, (рисунок 18). После этого выделяем «дно» и удаляем с помощью клавиши Delete.

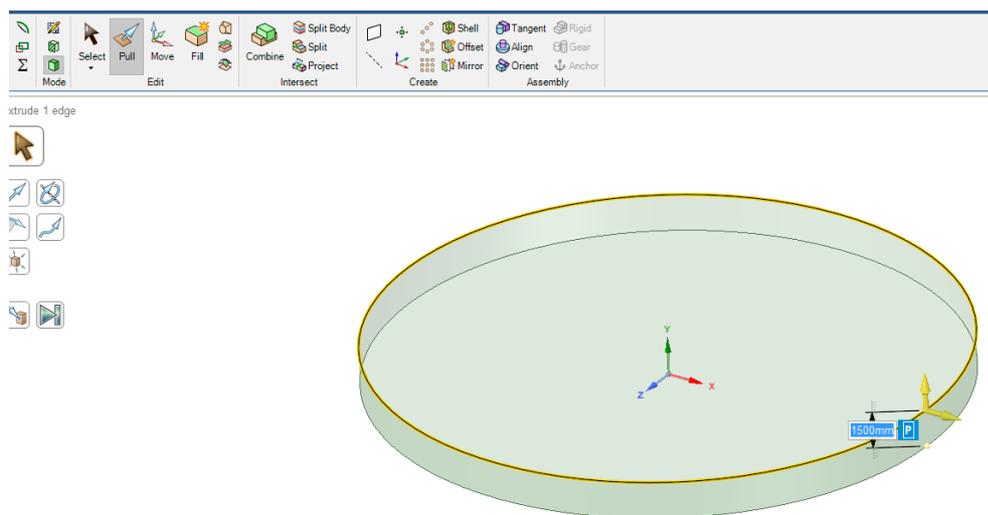


Рисунок 18 – Создание первого пояса резервуара

Выделяем полученное кольцо, с помощью сочетаний клавиш CTRL+C > CTRL+V копируем и вставляем для получения второго кольца. В SpaceClaim работают все стандартные сочетания клавиши и сочетания (копировать, вырезать, удалить, отменить последнюю операцию и т.п.) Прodelываем те же операции еще несколько раз для создания 8-ми колец (рисунок 19). Можно копировать сразу по несколько колец для ускорения работы.

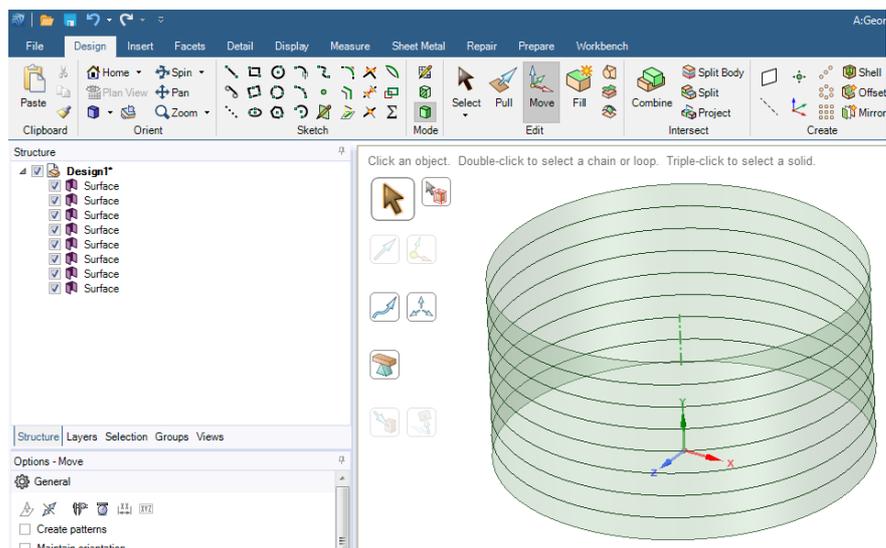


Рисунок 19 – Построение поясов резервуара

Переместим полученные геометрические объекты в один компонент (рисунок 20).

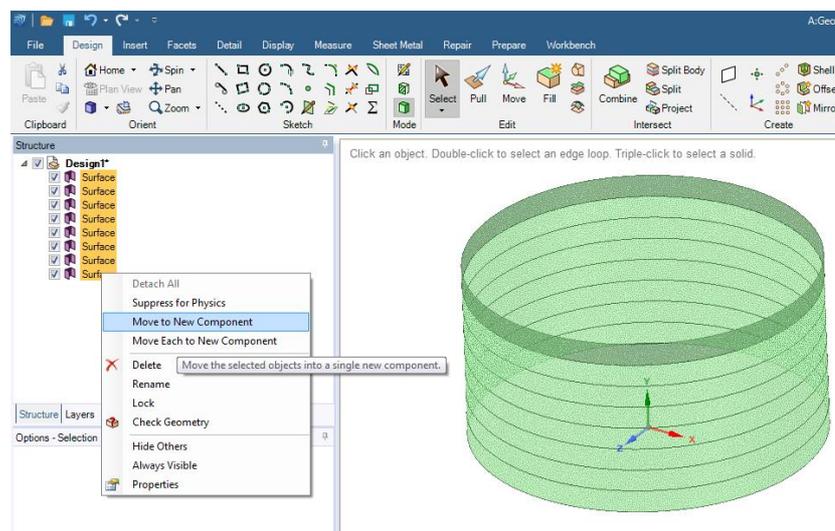


Рисунок 20 – Создание нового компонента

Вписываем имя нового компонента (walls) и устанавливаем способ взаимодействия геометрических объектов внутри компонента. Устанавливаем вариант Merge. Merge – КЭ сетка, построенная на геометрических объектах такого компонента при передаче в расчетный модуль. На границах колец будет не два узла в одном месте, а каждый из узлов будет относиться одновременно к двум телам (или более). Такой вариант позволяет не использовать контактные связи.

Переименуем все кольца для упрощения работы в дальнейшем. Для изменения имени выбираем в дереве нужное тело и нажимаем F2 (рисунок 21).



Рисунок 21 – Изменение имен тел

Формирование окрайки производим через создание эскиза в плоскости ZX. Выбираем оси Z и X и переходим к эскизному виду. В эскизе создаем окружность с диаметром равным внешнему диаметру окрайки (22900 мм), а также 12-тигранник с диаметром 21700 (т.к. ширина листов окрайки 650) (рисунок 22).

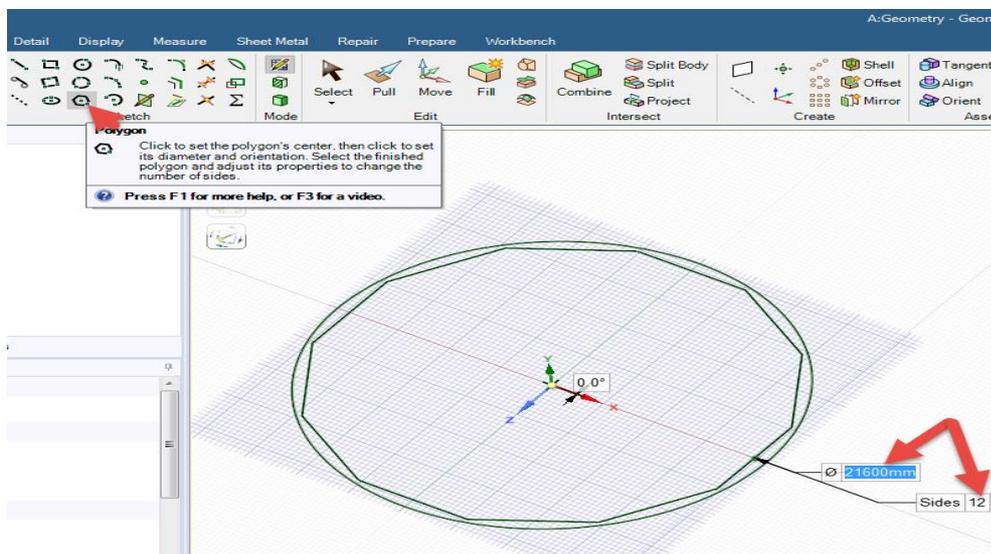


Рисунок 22 – Установки размеров окрайки

Переходим в 3D Mode, удаляем центральную часть полученного тела и переименовываем окрайку (rig) (рисунок 23).

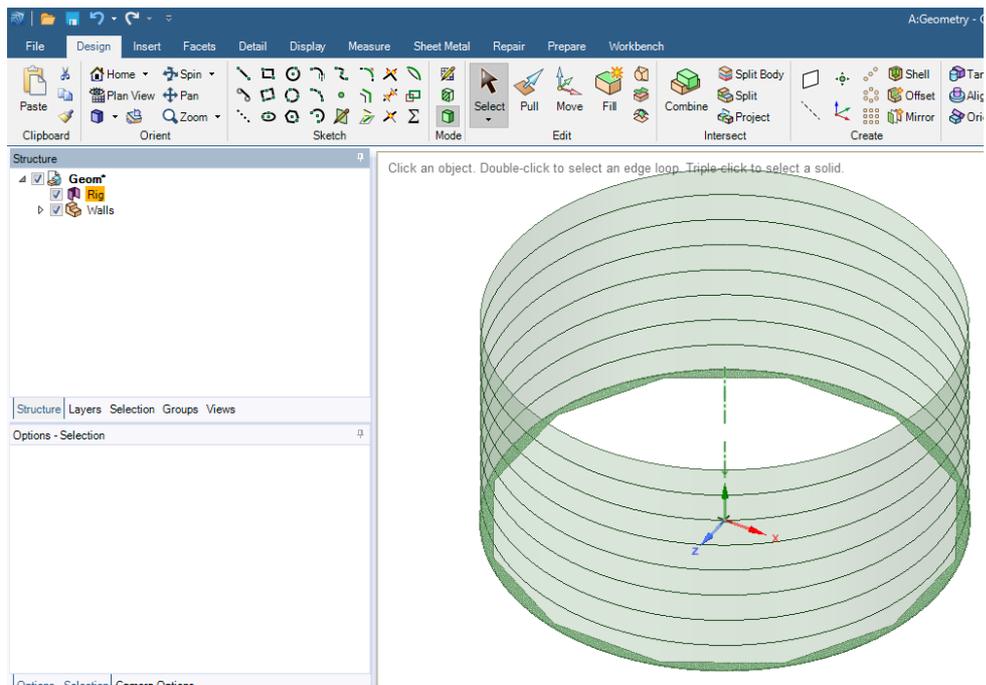


Рисунок 23 – Окрайка днища

Создание конического днища можно было бы осуществить через эскиз в плоскости  $YZ$ , но так как нахлест центральной части днища на листы окрайки – 60 мм, то создадим новую плоскость, выделив ось  $Y$  и одну из вершин многогранника, см. рисунок 24.

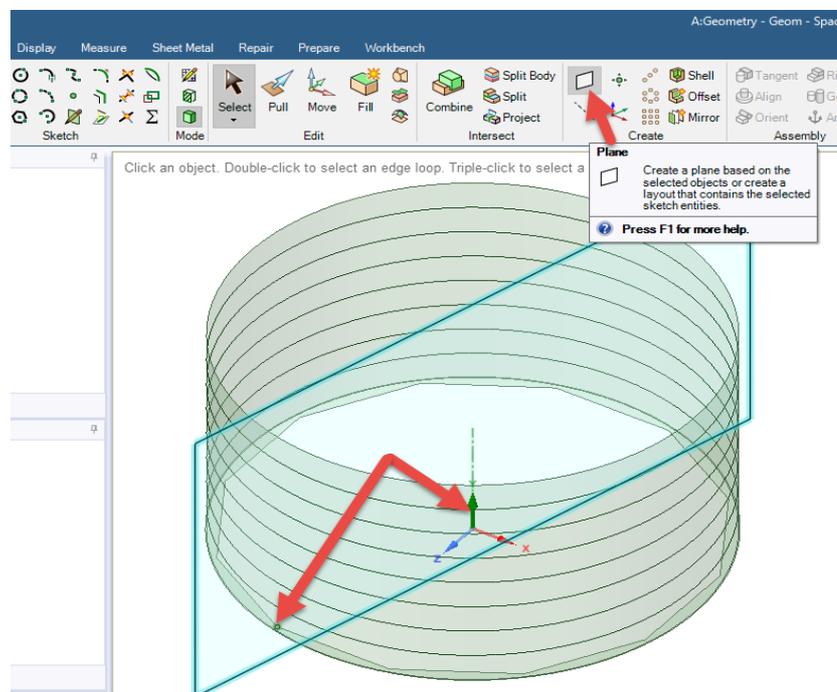


Рисунок 24 – Создание новой плоскости

Выбрав данную плоскость в дереве построения перейдем к работе с эскизом и используя операцию line отмерим необходимые 60 мм (рисунок 25).

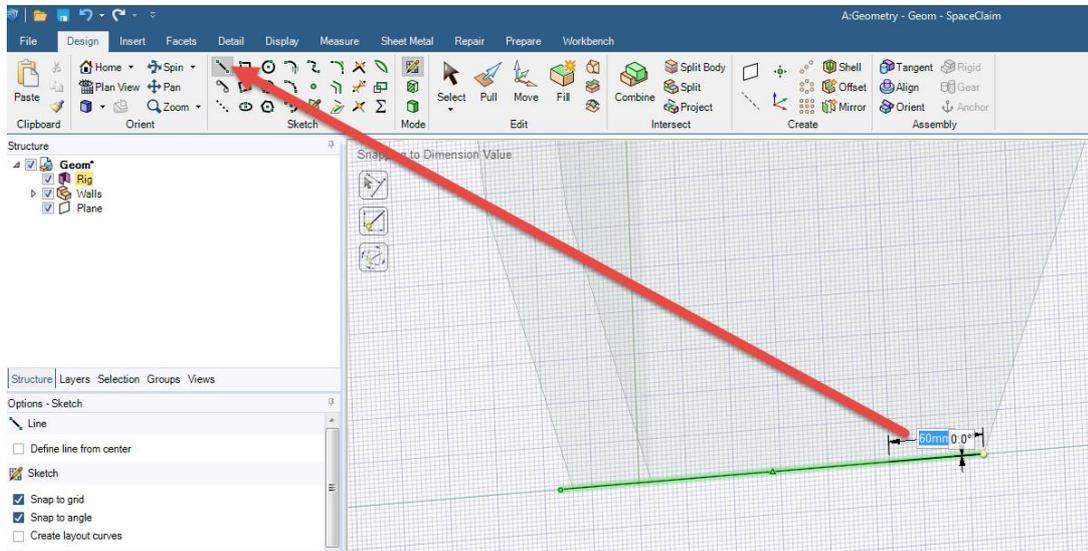


Рисунок 25 – Образование нахлеста центральной части днища на окрайку  
 Расстояние от полученной точки до центральной части днища (рисунок 26).

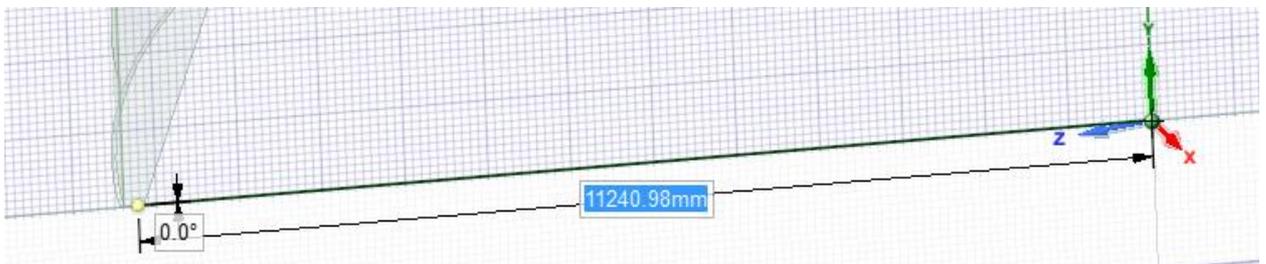


Рисунок 26 – Измерение расстояния до центра резервуара

Воспользуемся этими данными и проведем вертикальную линию из начала системы координат (центра резервуара) длиной равной 1/100 от ранее полученного расстояния для получения требуемого уклона. После чего соединим полученные точки. Две ранее созданных линии удалятся. Результат представлен на рисунке 27.

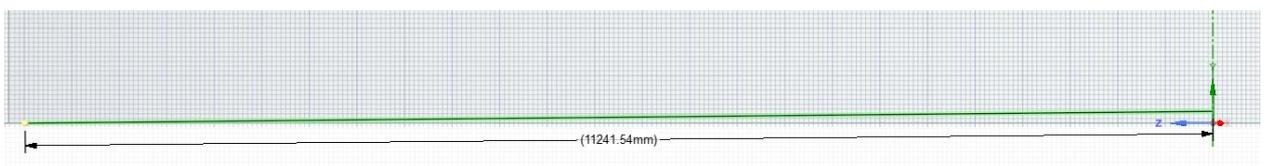


Рисунок 27 – Образующая конического днища

Далее снова воспользуемся операцией Pull, но теперь для разворота образующей вокруг оси Y (рисунок 28). Можно повернуть вручную на нужный угол, можно задать значение или повернуть до некоторого объекта, но в данном случае воспользуемся поворотом сразу на 360 градусов.

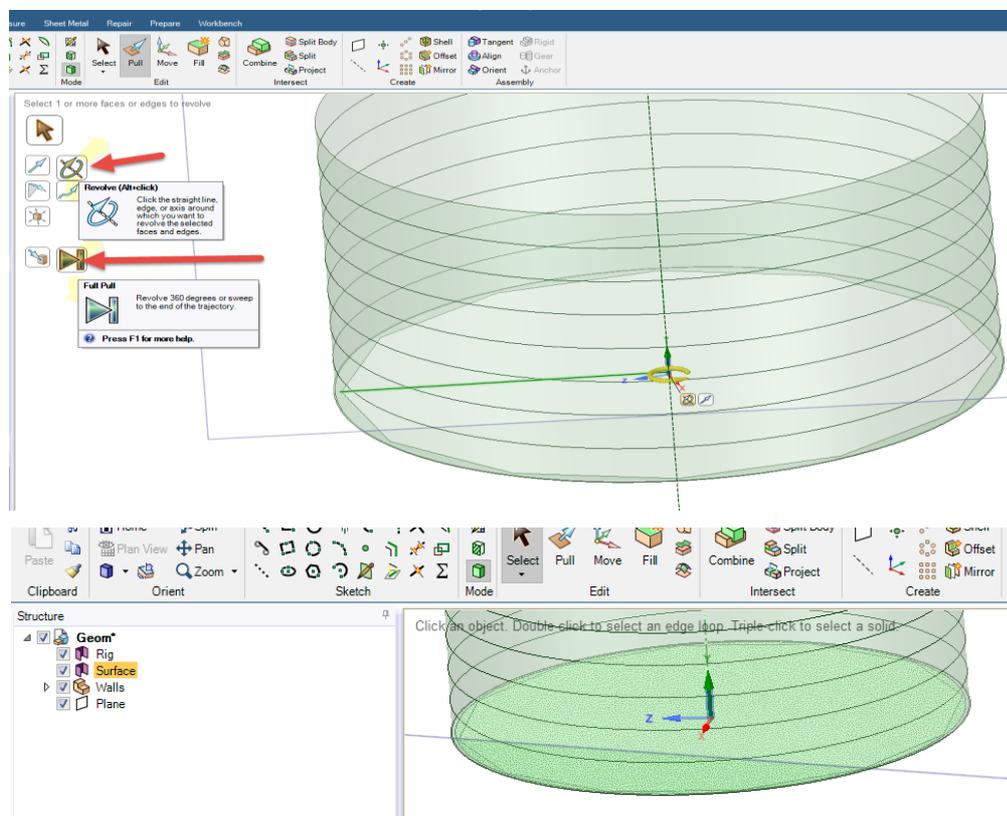


Рисунок 28 – Создание конического днища

Крыша данного резервуара стационарная коническая щитовая. Для создания крыши начальный, промежуточные и конечный щиты будем принимать одинаковыми.

Исходные данные для проектирования крыши РВС-5000:

Центральный патрубок диаметром 530 мм и толщиной 6 мм имеет высоту 848 мм с двумя фланцами: нижний – диаметром 730 мм, а верхний – диаметром 640 мм и толщиной 6 мм. Опорное кольцо диаметром 2000 мм, толщиной 6 мм с фланцем d1580/D2600 толщиной 10 мм. Центральный патрубок соединяется с центральным щитом восемью балками толщиной 10 мм. Угол наклона крыши составляет  $9.46^\circ$  (1:6). Толщина настила крыши 5 мм. Крыша подкрепляется стропильными 24-я балками I30Б2 (300x150/9/6.5)

					Аналитический и численный методы расчета резервуара	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		59

и тремя подкрепляющими кольцами в виде уголков L75x60x5. Внешний край листа подкрепляется уголком L90x56x6.

В плоскости ZY формируется основной эскиз, согласно исходным данным (рисунок 29).

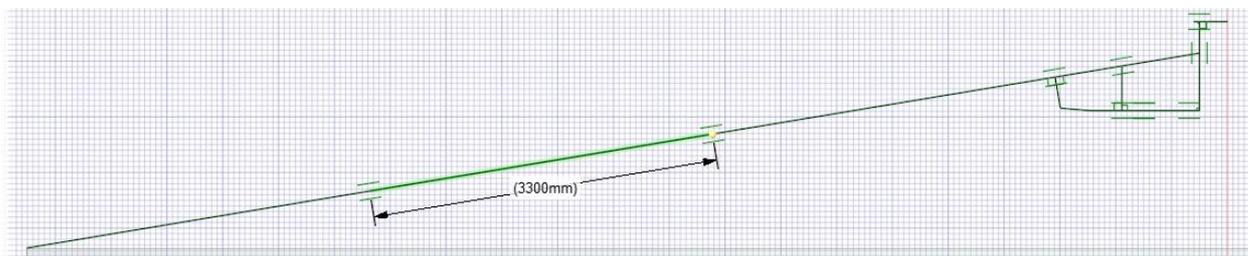


Рисунок 29 – Формирование основного эскиза

Линии, формирующие стропильные балки, поворачиваются на  $7,5^\circ$  (рисунок 30).

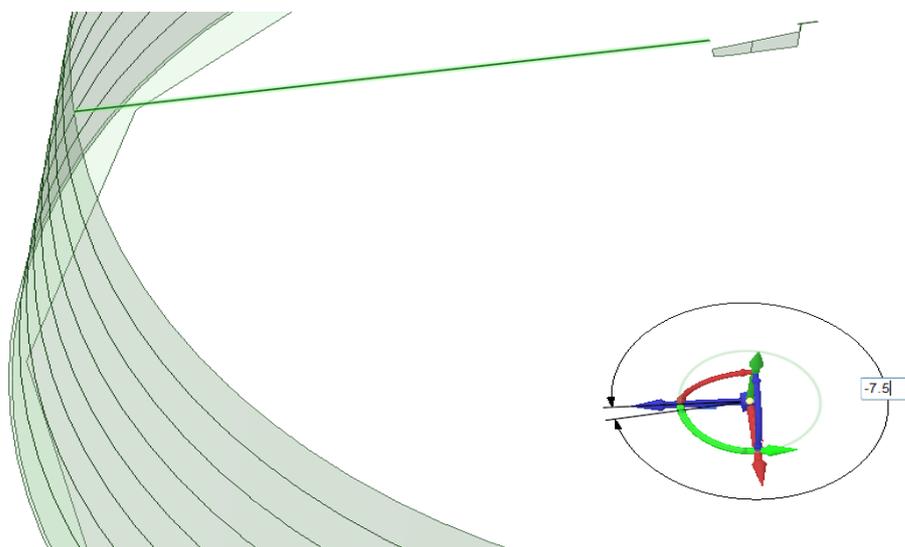


Рисунок 30 – Создание плоского сектора крыши

Далее формируем сектора крыши, рисунок 31.

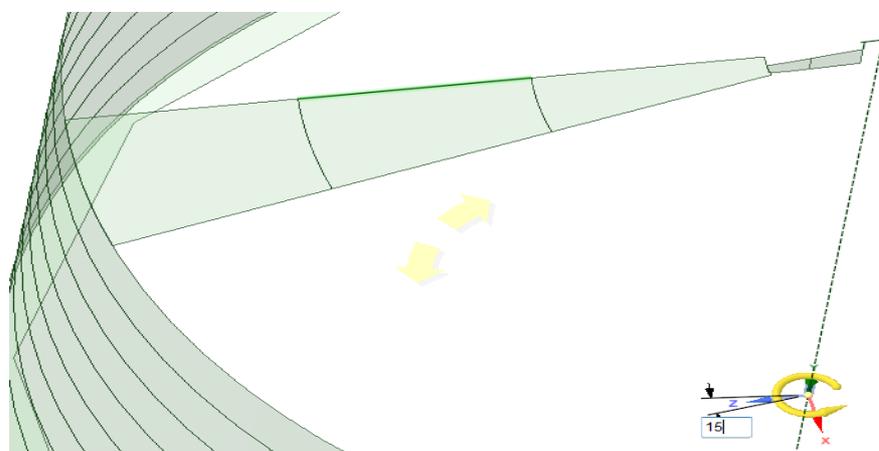


Рисунок 31 – Формирование секторов крыши

Аналогично (поворотом) формируются элементы центрального щита. Далее разделяем все полученные поверхности (detach), рисунок 32.

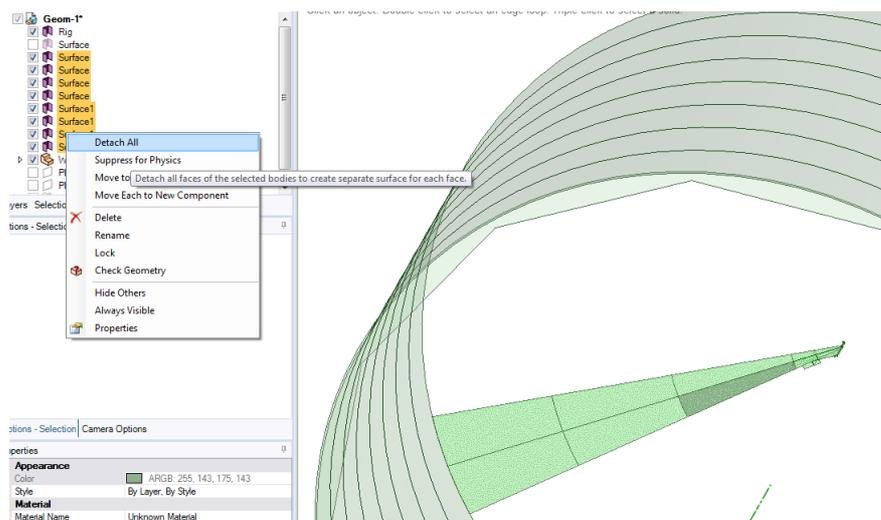


Рисунок 32 – Разделение листа плоскостью

Передвигаем переход стропильной балки к опорному кольцу (рисунок 33).

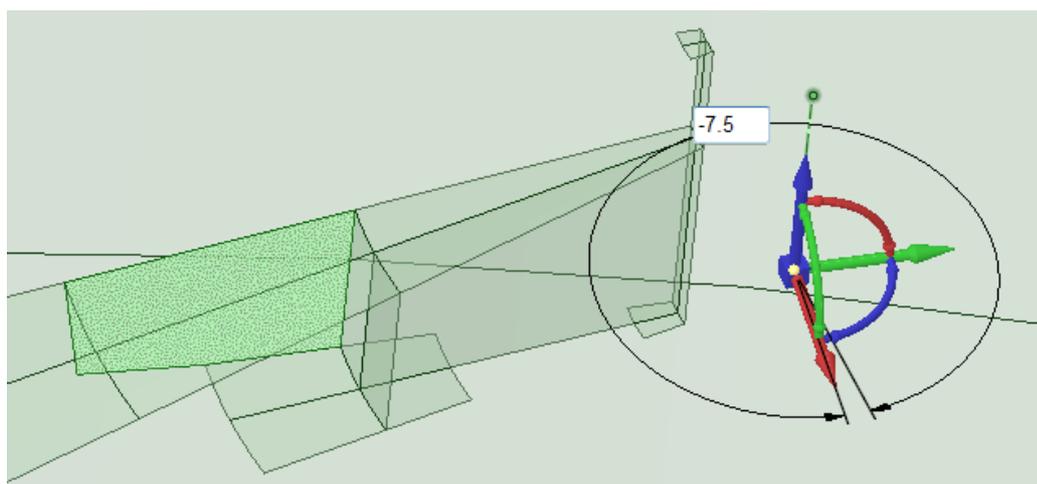


Рисунок 33 – Плоский сектор крыши с сегментами

Далее приступаем к созданию основных стропильных балок (рисунок 34). Остальные профили задаются аналогично.

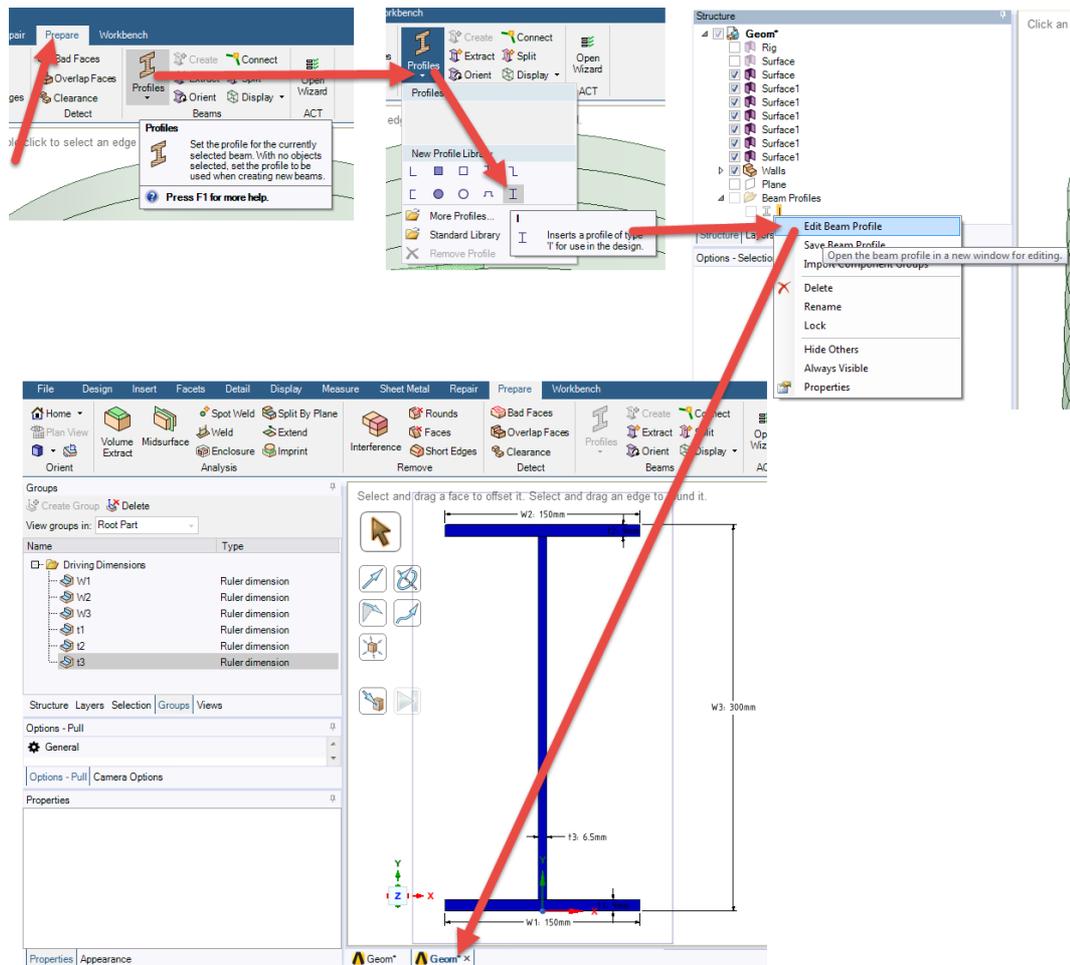


Рисунок 34 – Создание профиля стропильной балки

Устанавливаем отображение балок как твердых тел. Выбираем линии для стропильной балки, и задаем на них нужный профиль (рисунок 35).

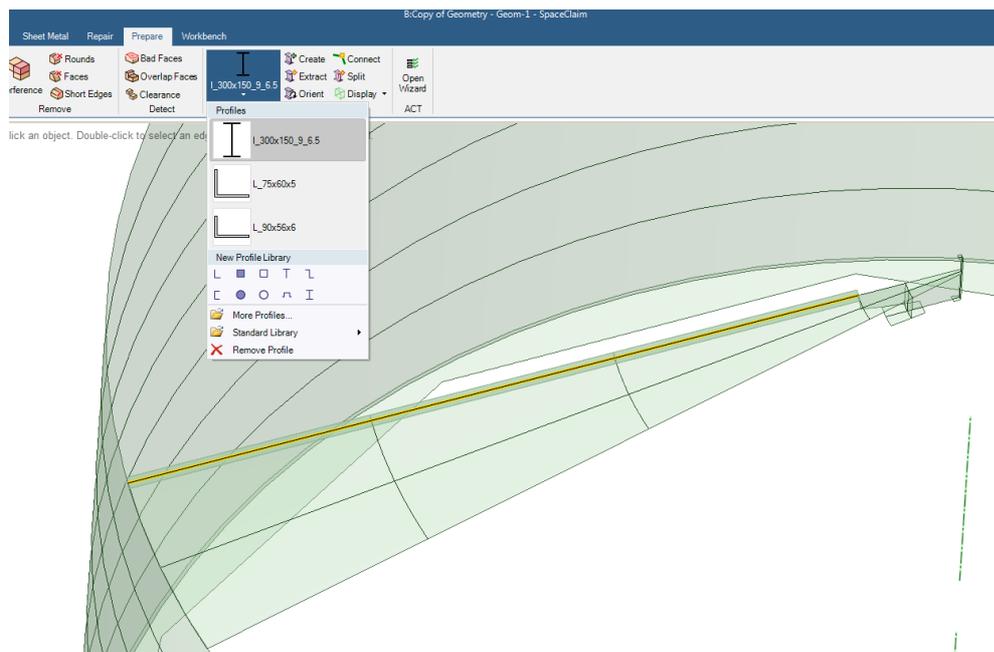


Рисунок 35 – Выбор линий для балок

Выбираем все балки и нажимаем Orient (для их разворота). Зажимая клавишу Alt ориентируем балки относительно верхнего пояса (для подробностей на этом этапе можно нажать F1 при наведении на команду orient). Установка эксцентриситета заключается в данном случае в смещении балки вниз по оси Y, как показано на рисунке 36.

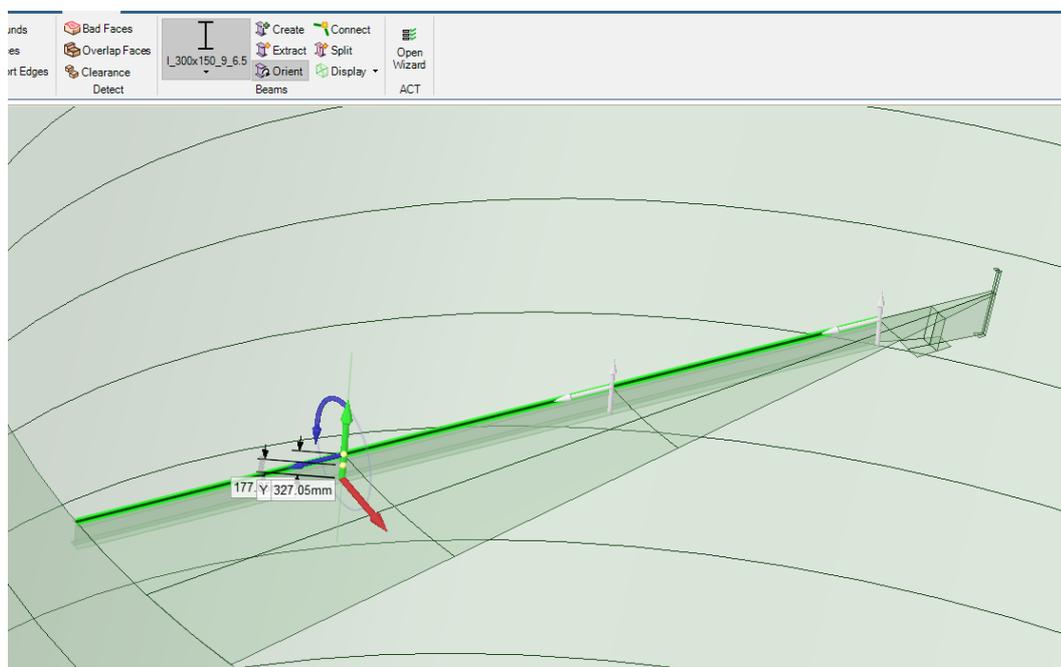


Рисунок 36 – Ориентирование балок

Для лучшей наглядности можно изменить цвет и прозрачность любых объектов. Устанавливаем, разворачиваем, смещаем и изменяем цвет остальных балок, как показано на рисунке 37.

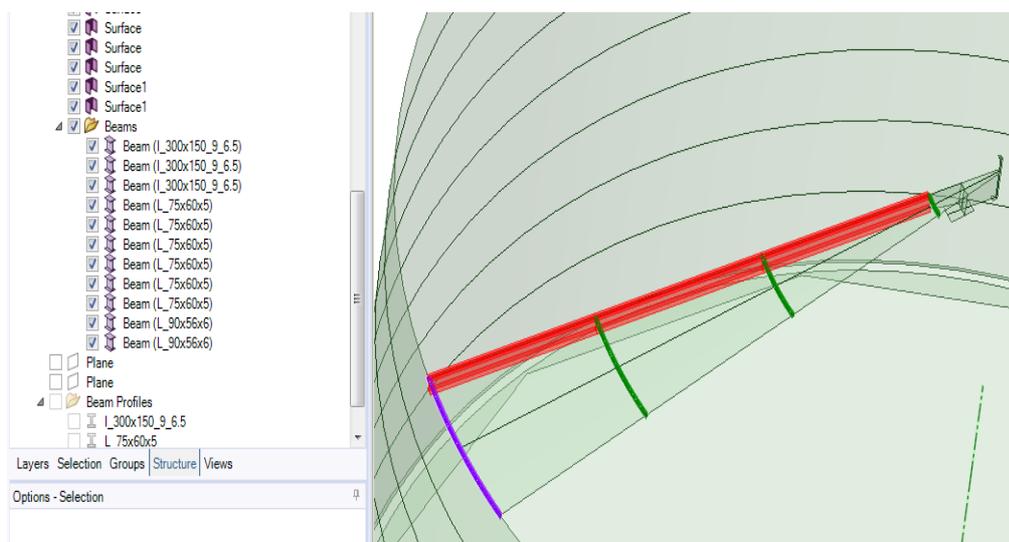


Рисунок 37 – Сектор крыши, подкрепленный балками

Объединяем полученные элементы в один компонент, устанавливаем объединение топологии (share topology: group), переименовываем и разделяем на группы внутри одного компонента (share topology: group). Затем переносим одну балку внутреннего кольца за поле компонента, рисунок 38.

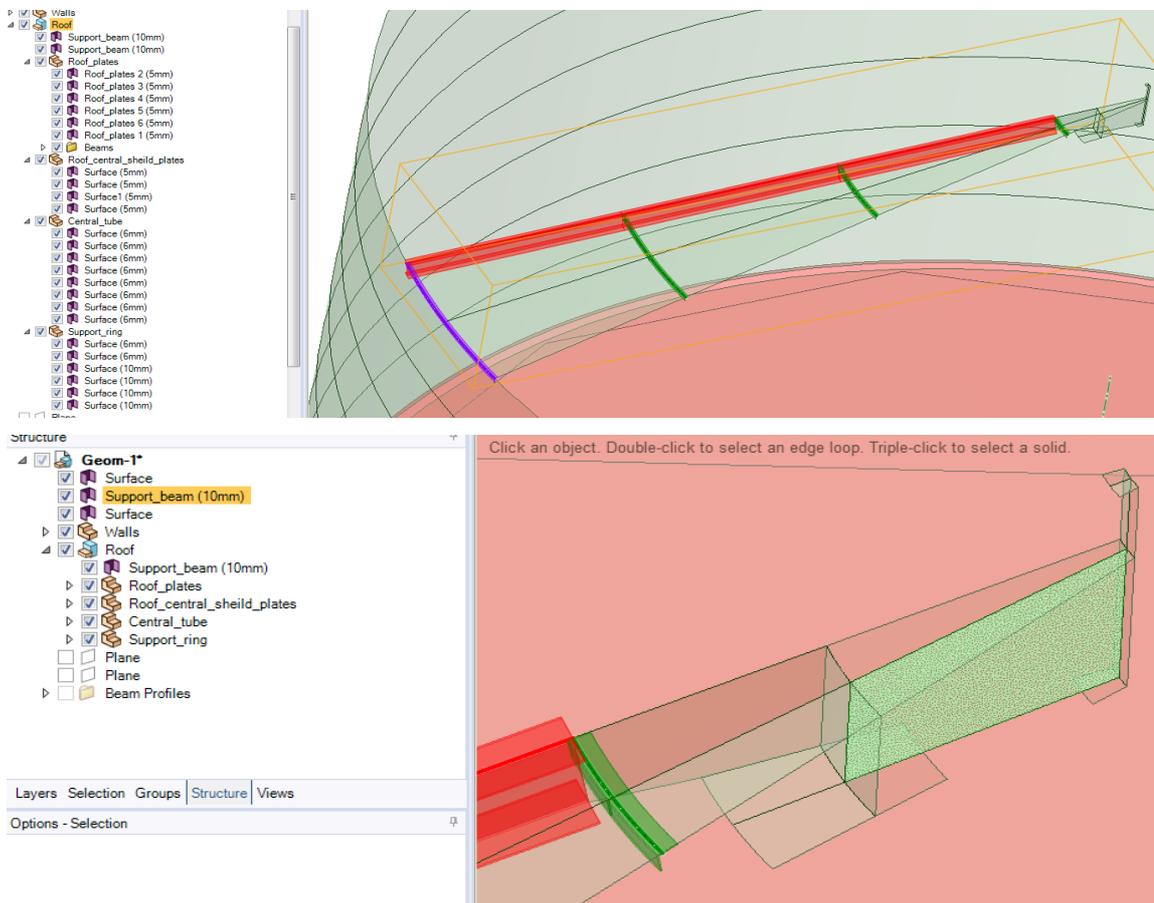


Рисунок 38 – компоненты крыши

Используя операцию «круговой массив» (Circular pattern), создаем остальные 24 сектора (рисунок 39).

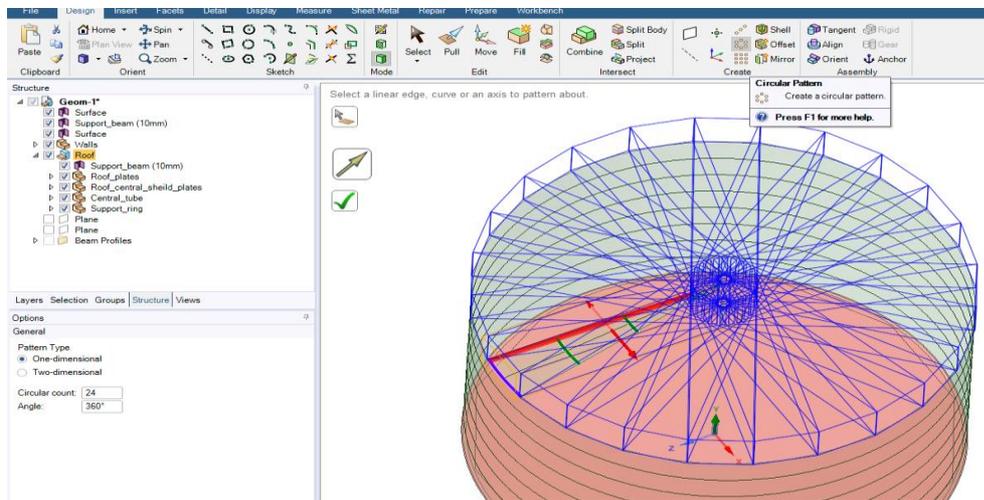


Рисунок 39 – Использование операции Circular pattern

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

Аналогично создается и массив центральных подкрепляющих балок, но уже на 8 элементов/360°. Результат представлен на рисунке 40.

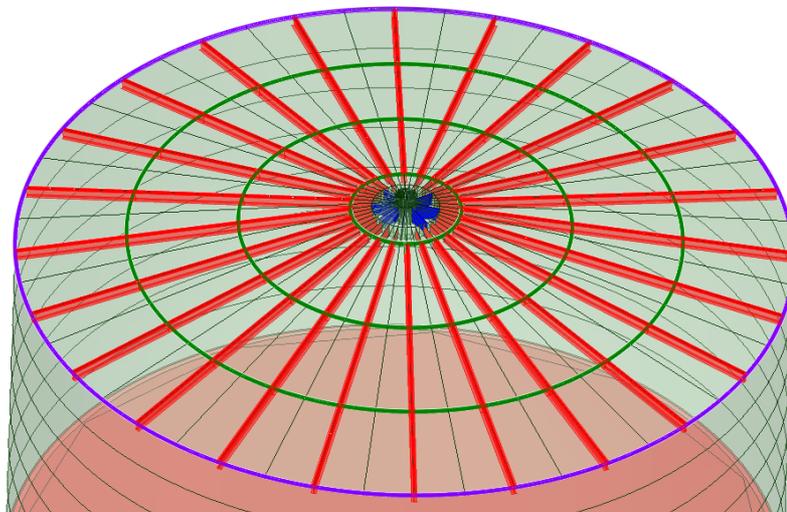


Рисунок 40 – Крыша резервуара

Разворачиваем нормали оболочек в центральной части крыши (рисунок 41). Достаточно выбрать две базовых оболочки, которые были получены, путем вытягивания их на угол  $-7,5^\circ$ . Остальные развернутся в нужную сторону сами, т.к. была использована команда массива.

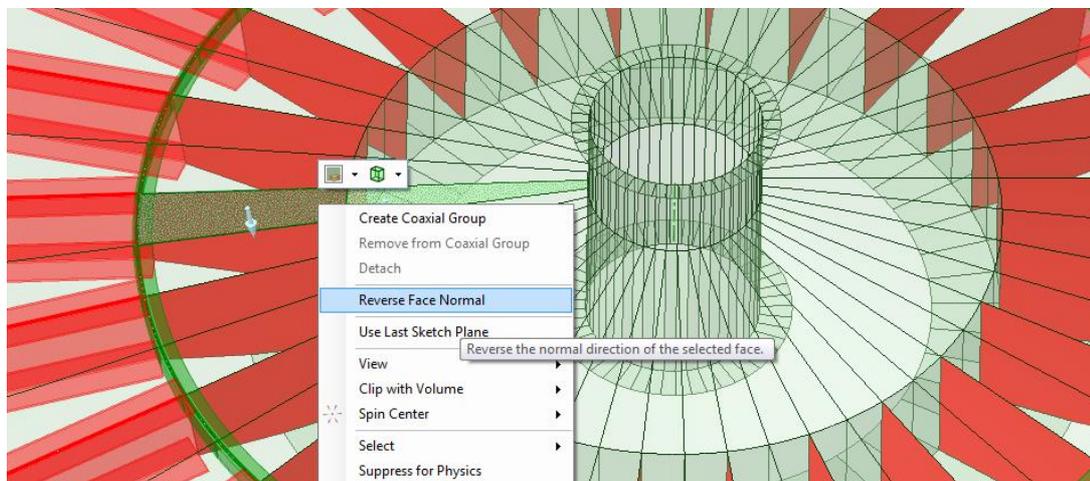


Рисунок 41 – Разворот нормалей оболочек

Все компоненты, относящиеся к крыше, сливаем в один и устанавливаем в новом компоненте share topology: merge.

Создание ж/б кольца осуществляется с помощью вытягивания эскиза, как показано на рисунке 30. Железобетонное кольцо находится под стенкой резервуара, его ширина 1 м, толщина 0,3 м. Стенка опирается на середину ж/б кольца (рисунок 42).

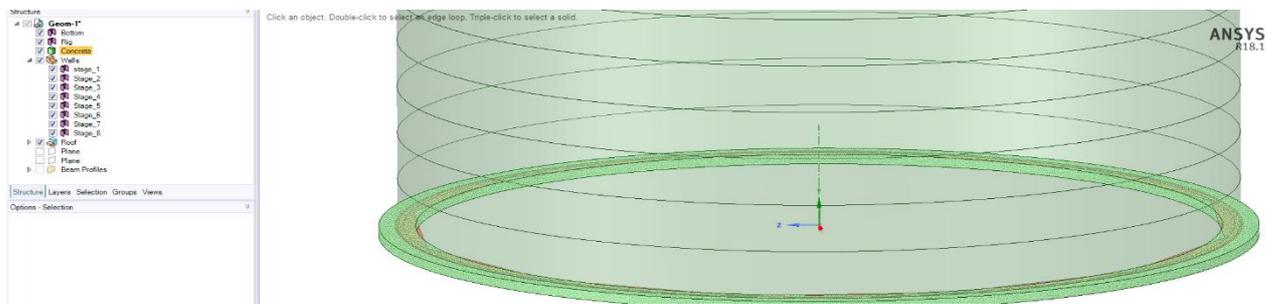


Рисунок 42 – Создание фундаментного кольца

Для удобства дальнейшей работы создаем прямо в SpaceClaim несколько именованных выборок (Named Selections). Создание именованной выборки (faces) стенок резервуара представлено на рисунке 43.

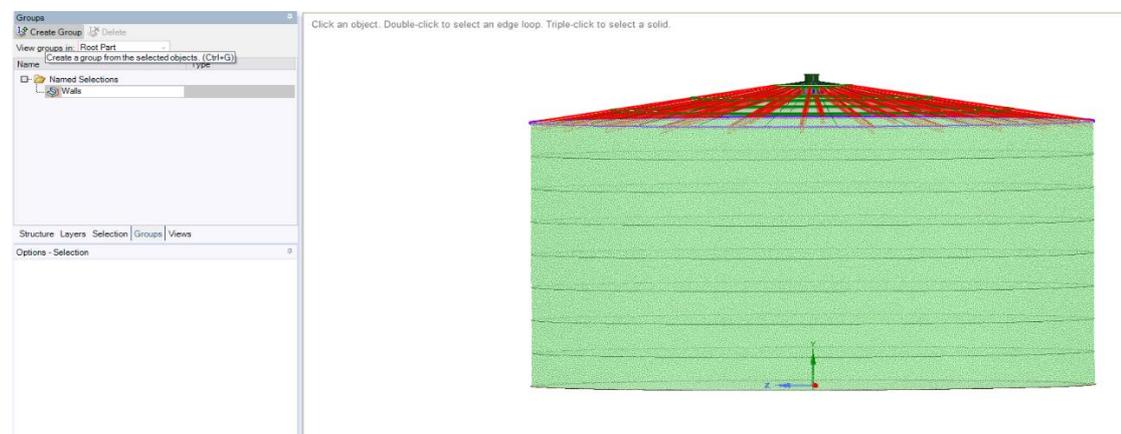


Рисунок 43 – Создание именованной выборки

Далее установили дополнительные кольца жесткости крыши (для предотвращения ее прогиб от действия снеговой нагрузки и веса стационарного оборудования крыши) и задали толщины элементов.

Общий вид геометрической модели представлен на рисунке 44.

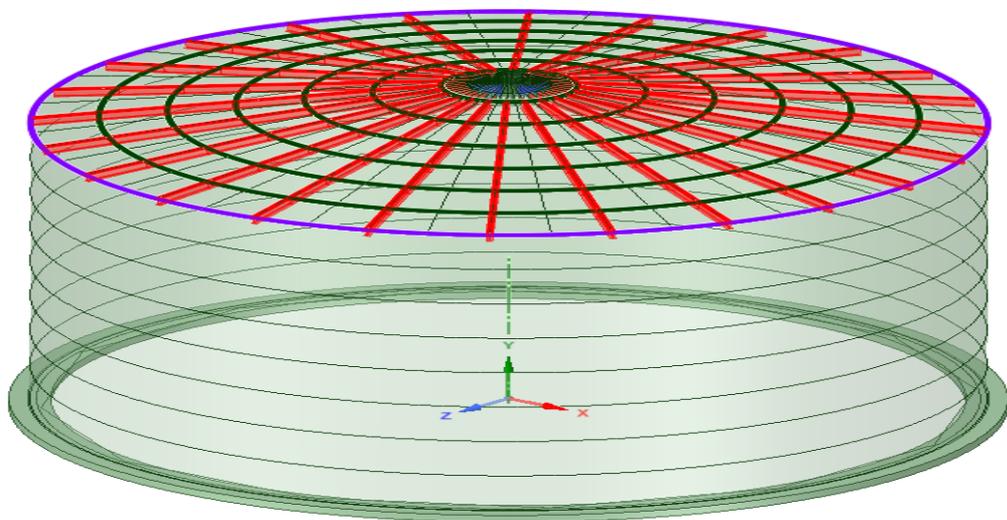


Рисунок 44 – Общий вид геометрической модели после финальных преобразований

## 2.2.2 Задание контактных пар и создание конечно-элементной сетки PVC-5000

После создания геометрии резервуара переходим в Workbench и создаем систему анализа – Static Structural, перенося соответствующий пункт прямо на созданную геометрию. Таким образом сразу будут образованы необходимые связи. В модели будут слиты все узлы крыши. Отдельно будут слиты все узлы стенок резервуара. Останется соединить контактами только стенки с крышей, а также стенки с окрайкой и окрайку с дном и фундаментом.

По умолчанию все элементы конструкции имеют материал Structural Steel, однако, в нашем случае, потребуется задать дополнительный материал – бетон. Перейдем по вкладке Engineering Data и воспользуемся встроенной моделью Concrete (рисунок 45).

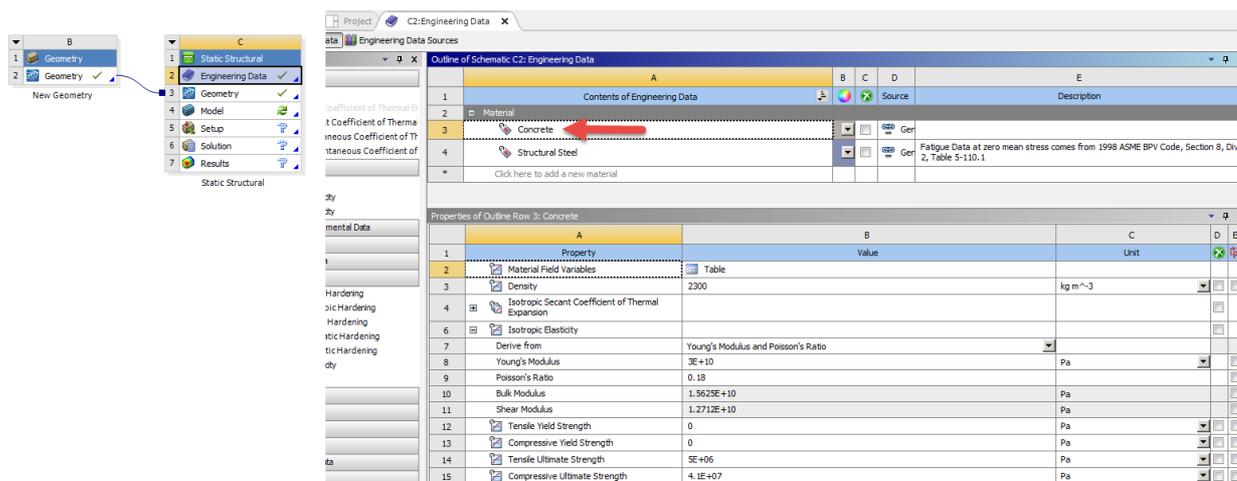


Рисунок 45 – Используемые материалы

После задания материалов возвращаемся к схематике проекта и переходим в модуль Mechanical. Создадим новую систему координат – цилиндрическую. Она пригодится для отображения результатов и для удобства выбора объектов. Устанавливаем тип новой системы координат, определяем начало отсчета (положения нуля) системы координат, изменяем оси (рисунок 46). При необходимости можно задать дополнительные системы координат в любой момент. Системы координат можно задавать не только на основе глобальных систем координат, но и опираясь на

геометрические объекты и именованные выборки с ними. Кроме того, они могут создаваться и в SpaceClaim.

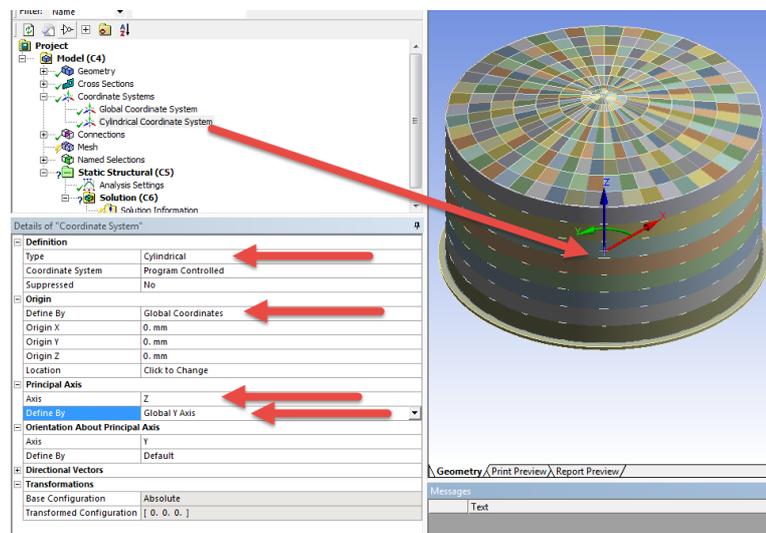


Рисунок 46 – Настройка системы координат

Продвигаясь далее по дереву проекта перейдем на вкладку Connections. В данной вкладке задаются соединения (включая контактное взаимодействие).

Вернемся к определению контактных пар позже, перейдя к созданию именованных выборок (Named Selections), так как это будет удобнее. В нашем случае, данная вкладка уже присутствует в дереве проекта, т.к. была создана одна именованная выборка прямо в SpaceClaim (ранее были заданы поверхности для упругой опоры). Создадим новую именованную выборку. Именованные выборки могут создаваться через непосредственный выбор геометрических объектов или через поиск этих объектов по какому-либо признаку. Второй вариант (WorkSheet) является рекомендуемым, его и выбираем (рисунок 47).

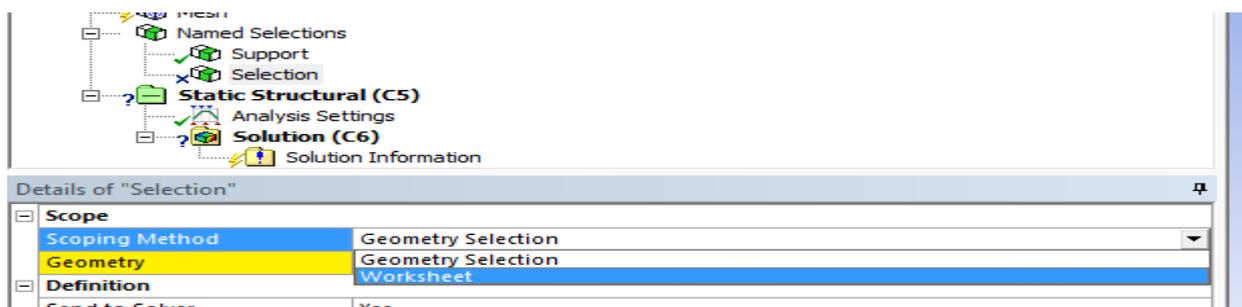


Рисунок 47 – Определение именованной выборки через рабочее поле

В появившемся поле добавляем строку (Add Row). В каждом столбце рабочего поля содержится выпадающее меню, с помощью которого можно найти объекты по множеству признаков. Так, первый столбец содержит операции: добавить к выборке, убрать из нее, отфильтровать выборку по признаку, инвертировать выборку, преобразовать выборку. В первой строке первого столбца всегда «добавить». Во втором столбце устанавливается тип выбираемых (селектируемых) объектов: тела, поверхности, грани, точки, узлы сетки КЭ. В третьем столбце устанавливается критерий отбора. Четвертый столбец установит границы поиска (конкретное число; кроме конкретного числа; менее, чем конкретное число; менее, чем конкретное число, включительно; аналогично с «более»; в диапазоне; наименьшее/наибольшее). Пятая колонка отвечает за единицы измерения при выборке. В шестую колонку вводятся конкретные числа, если выбран такой оператор. В седьмую и восьмую, – если выбран оператор «в диапазоне». При установке оператора в положения «наибольшее/наименьшее» все три этих колонки неактивны. При установке другого критерия выбора объектов столбцы колонки шесть, семь и восемь, могут быть также снабжены выпадающим меню, вместо ввода конкретных чисел. Причем, в зависимости от того, что именно выбирается, пункты этого меню различаются. Установим диапазон значений таким образом, чтобы были захвачены только области стенок резервуара (рисунок 48). Последняя колонка отвечает за систему координат.

Note: Comparisons of values with unit are done in the CAD Unit System: Metric (m, kg, N, s, V, A). Current Unit System: Metric (mm, kg, N, s, mV, mA)

	Action	Entity Type	Criterion	Operator	Units	Value	Lower Bound	Upper Bound	Coordinate System
<input checked="" type="checkbox"/>	Add	Face	Location Y	Range	mm	N/A	100	11999	Global Coordinate S...

Рисунок 48 – Колонки рабочего поля с установленными значениями

Генерируем и переименовываем данную выборку в Walls\_faces. В дальнейшем мы сможем использовать данную именованную выборку, например, для задания давления на стенки резервуара. Аналогично создаем еще несколько выборок: верхнее кольцо, поверхность обечайки, верхняя поверхность фундаментного кольца, поверхность днища, поверхности

					<i>Аналитический и численные методы расчета резервуара</i>	<i>Лист</i>
						69
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

крыши, поверхности крыши, граничащие с верхним кольцом стенки, все созданные выборки показаны на рисунке 49.

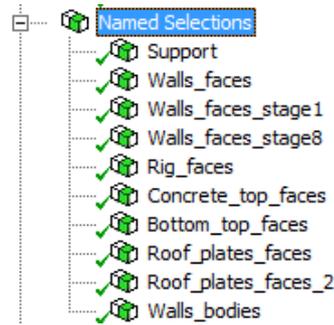


Рисунок 49 – Созданные именованные выборки

Используя именованные выборки, создаем связь между геометрическими объектами. Используем расширенный метод Лагранжа. Также лучше установить метод определения (поиска) контактных поверхностей и переименовать контактную пару, опираясь на названия сопрягаемых объектов (рисунок 50).

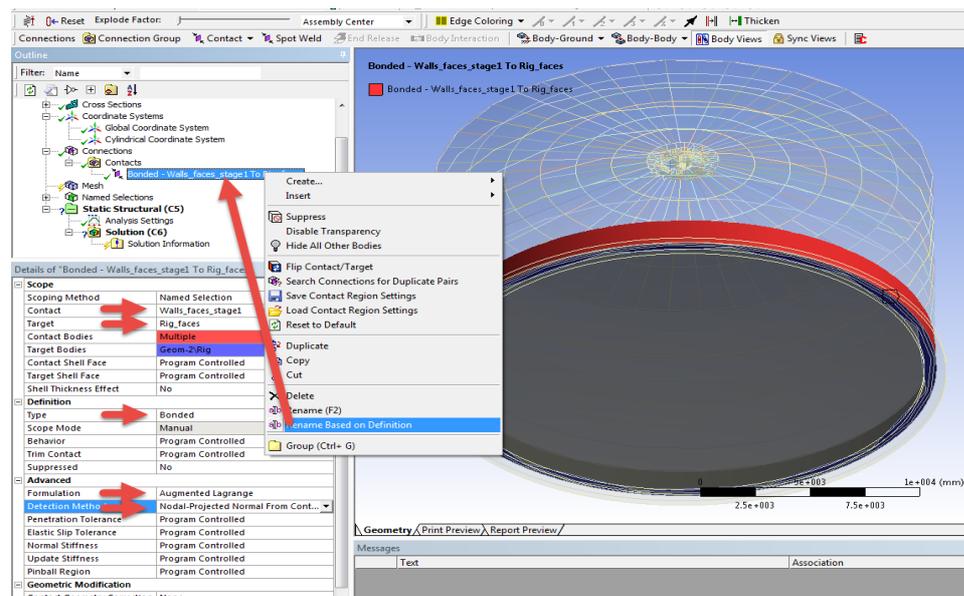


Рисунок 50 – Создание контактной пары

Аналогично задаются контактные пары между дном и окрайкой, окрайкой и фундаментным кольцом, а также верхним поясом и крышей (рисунок 51).



Рисунок 51 – Созданные контактные пары

Для создания сетки конечных элементов переходим во вкладку Mesh, где открываются настройки КЭ сетки. Так, по умолчанию КЭ сетка строится с автоматическим выбором типа элементов (Program Controlled). Так же доступны варианты принудительного использования линейный или квадратичных элементов. В автоматическом режиме практически всегда будут использоваться линейные элементы. В зависимости от типа геометрического объекта (массивное тело, поверхность, балочное тело) автоматически выбирается конкретный тип элемента, так, например, для оболочечных тел выбираются SHELL281, в случае установки квадратичных элементов. В данном случае воспользуемся методом MultiZone, с попыткой создавать только четырехгранные элементы на телах (поверхностях) стенок резервуара. Общий вид модели, полученной на данном этапе представлен на рисунке 52.

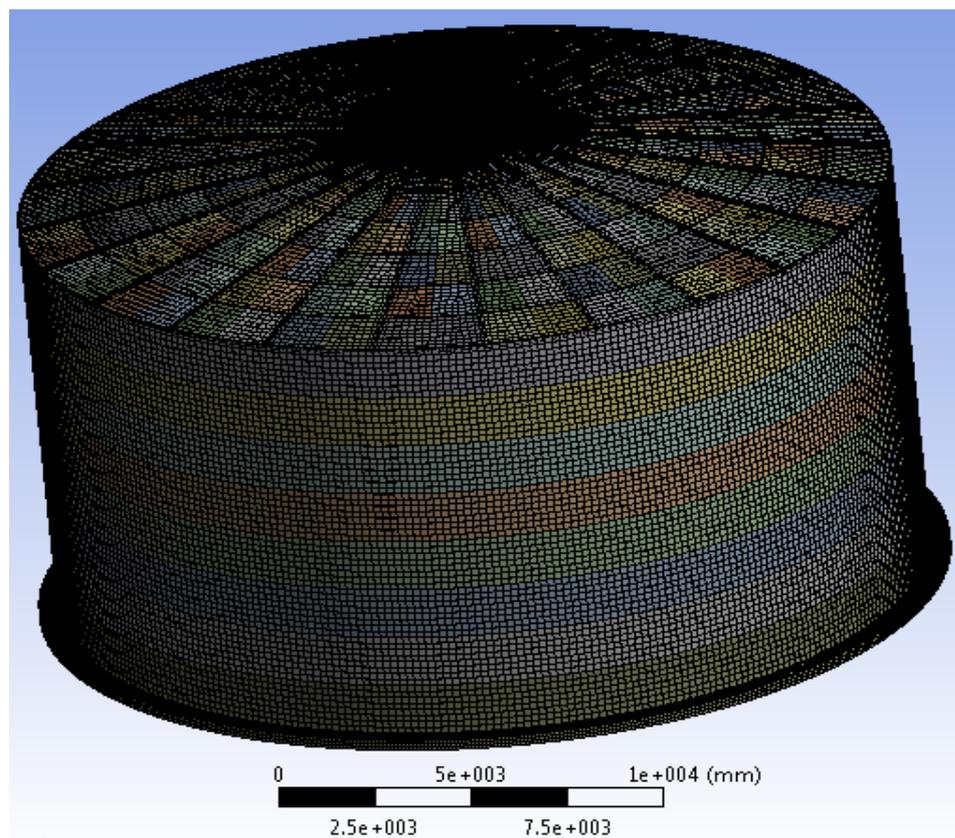


Рисунок 52 – Общий вид КЭ модели

Используя секущую плоскость, перейдем к заданию эксцентриситетов поверхностей. По умолчанию толщина поверхностей задается исходя из того, что построенная геометрия является срединной поверхностью получаемых

					Аналитический и численный методы расчета резервуара	Лист
						71
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

КЭ. Используя ранее сделанные именованные выборки, найдем геометрические объекты, соответствующие стенкам резервуара, отобразим КЭ на геометрии и установим смещение, относительно срединной поверхности. Аналогичные операции сделаем с поверхностями крыши, окрайки и днища. Результат работы представлен на рисунке 53.

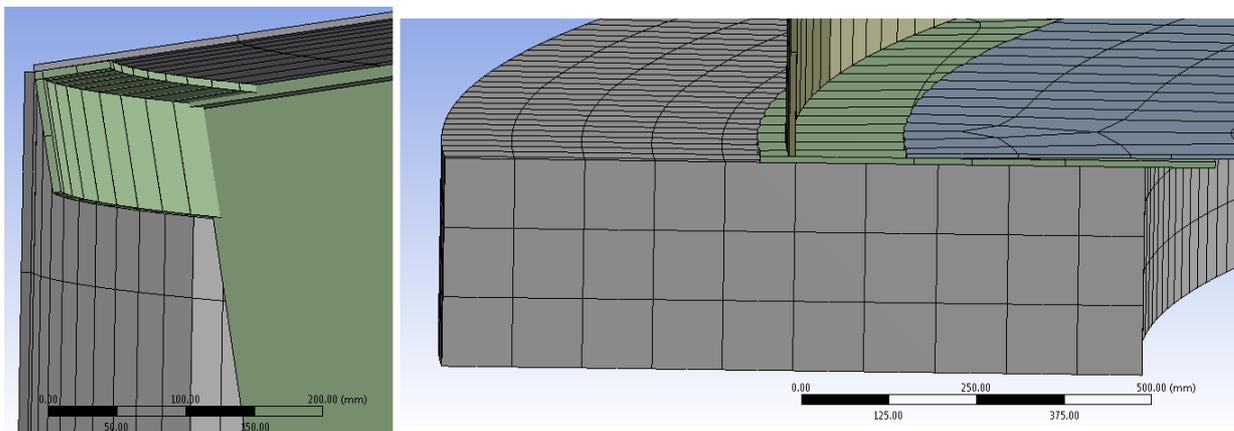


Рисунок 53 – Установленное смещение относительно срединной поверхности

### 2.2.3 Воздействия и нагрузки РВС-5000

Нагрузки и воздействия, действующие на конструкцию рассматриваемого вертикального стального резервуара, показаны на рисунке 54.

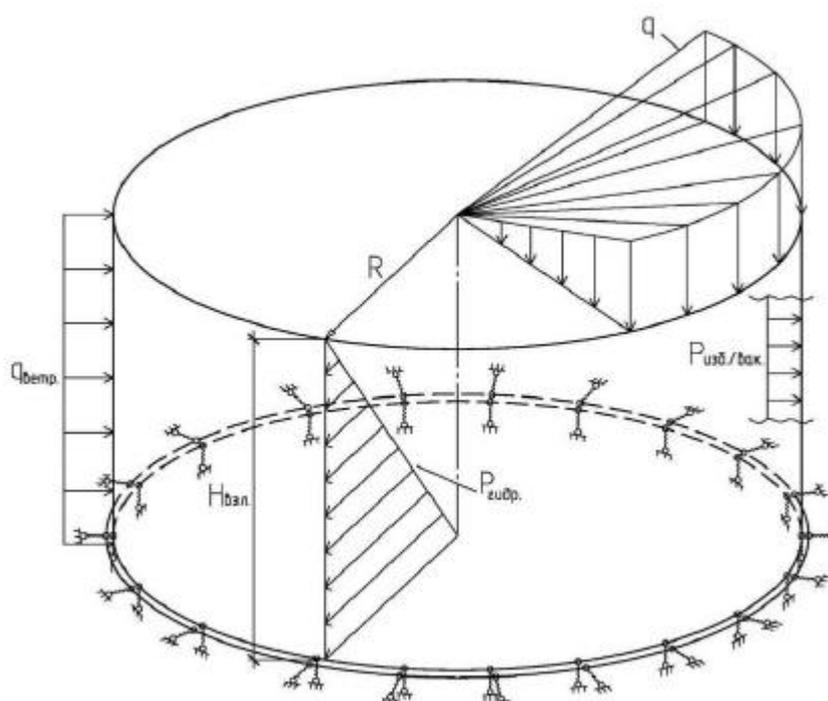


Рисунок 54 – Схема нагрузок и воздействий на РВС-5000

					Аналитический и численный методы расчета резервуара	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		72

где  $R$  – радиус резервуара, 11,4 м;

Нвзл. – проектная высота разлива продукта, 10,8 м;

$q_{\text{ветр.}}$  – нагрузка от ветрового давления, 230 Па;

$R_{\text{гидр.}}$  – гидростатическая нагрузка, 0-101325 Па;

$R_{\text{изб./вак.}}$  – рабочие значения избыточного давления или вакуума в газовом пространстве РВС, 2000-250 Па;

$q$  – суммарная нагрузка от действия давления снегового покрова и силы стационарного оборудования, установленного на крыше резервуара, 1650 Па и 30000 Н.

Конструкция резервуара испытывает на себе различные сочетания нагрузок, основной из которой является вес от хранимой жидкости, в нашем случае то нефть. Необходимо учитывать тот факт, при проектировании резервуара, что проверка его на прочность и устойчивость происходит путем проведения гидроиспытаний (плотность воды  $\rho \approx 1000$  кг/м<sup>3</sup>), также следует учитывать нагрузку от действия давления снегового покрова и ветра, которые рассчитываются в зависимости от региона, где расположен резервуар, по СП 20.13330.2016 "Нагрузки и воздействия" и нагрузку от веса стационарного оборудования, расположенного на крыше резервуара.

### 2.3 Верификация модели РВС-5000

Для проверки полученной модели с помощью ANSYS рассмотрим численное решение рассмотренной задачи в пункте 2.1 при осесимметричном нагружении. После получения результатов при выполнении численного решения сопоставим их с аналитическим методом решения, таким образом будет проверена адекватность построенной модели и возможность ее применения в дальнейшем исследовании. Данный подход для верификации модели был проделан в работах [39, 40.]

Полученные значения прогибов и напряжений в стенке резервуара в зависимости от его высоты при выполненном численном решении представлены в таблице 9.

					Аналитический и численные методы расчета резервуара	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		73

Таблица 9. Результаты численного метода вычисления

х, см (высота стенки)	h, мм, (толщина стенки)	w, мм (прогиб стенки)	σ, МПа (напряжен ия в стенке)
0	9	0,00	12,970
200	8	6,7346	120,810
400	7	6,0729	109,090
600	7	4,2329	60,774
800	7	3,0405	54,560
1000	7	1,5231	27,294
1200	7	0,00	0,051

Для более наглядного сравнения полученных результатов при выполнении расчетов аналитическим и численным методами изобразим графики зависимостей прогибов (рисунок 55) и напряжений (рисунок 56) от высоты стенки РВС-5000.

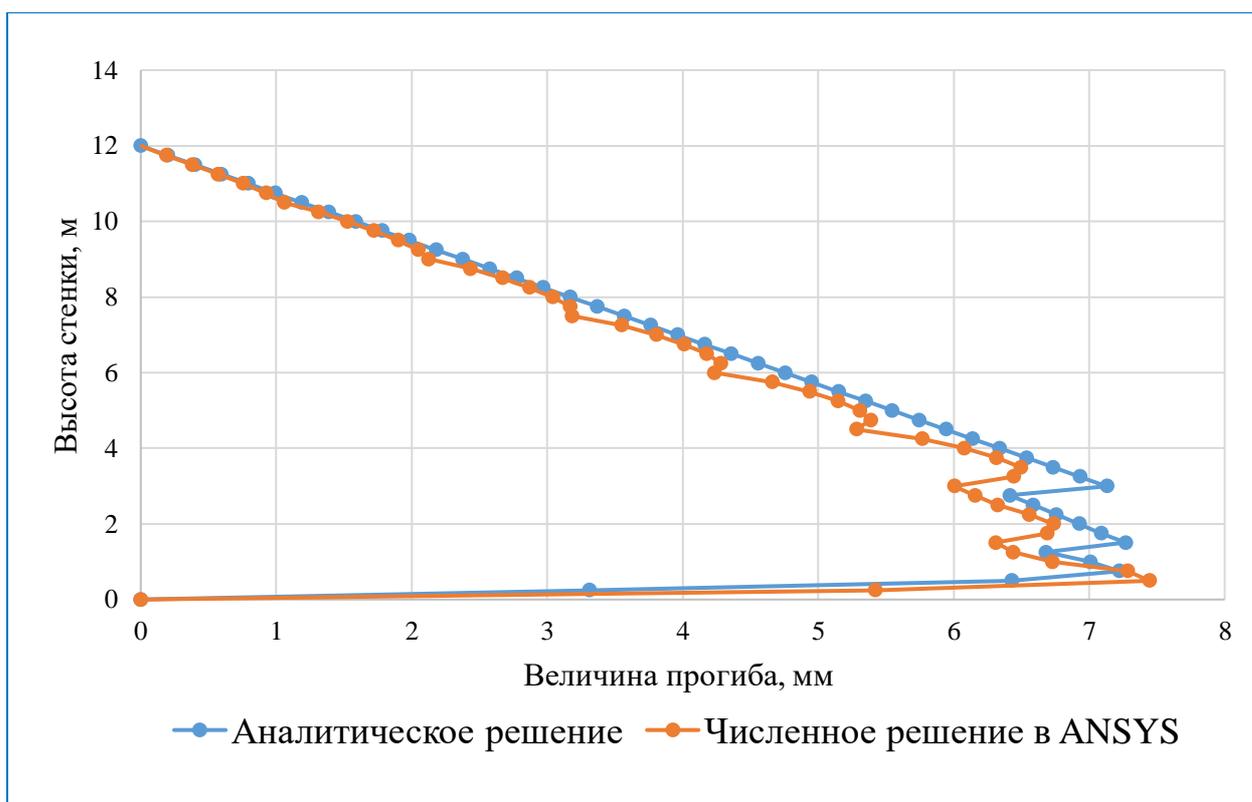


Рисунок 55 – Перемещения стенки резервуара в радиальном направлении в зависимости от высоты стенки РВС-5000

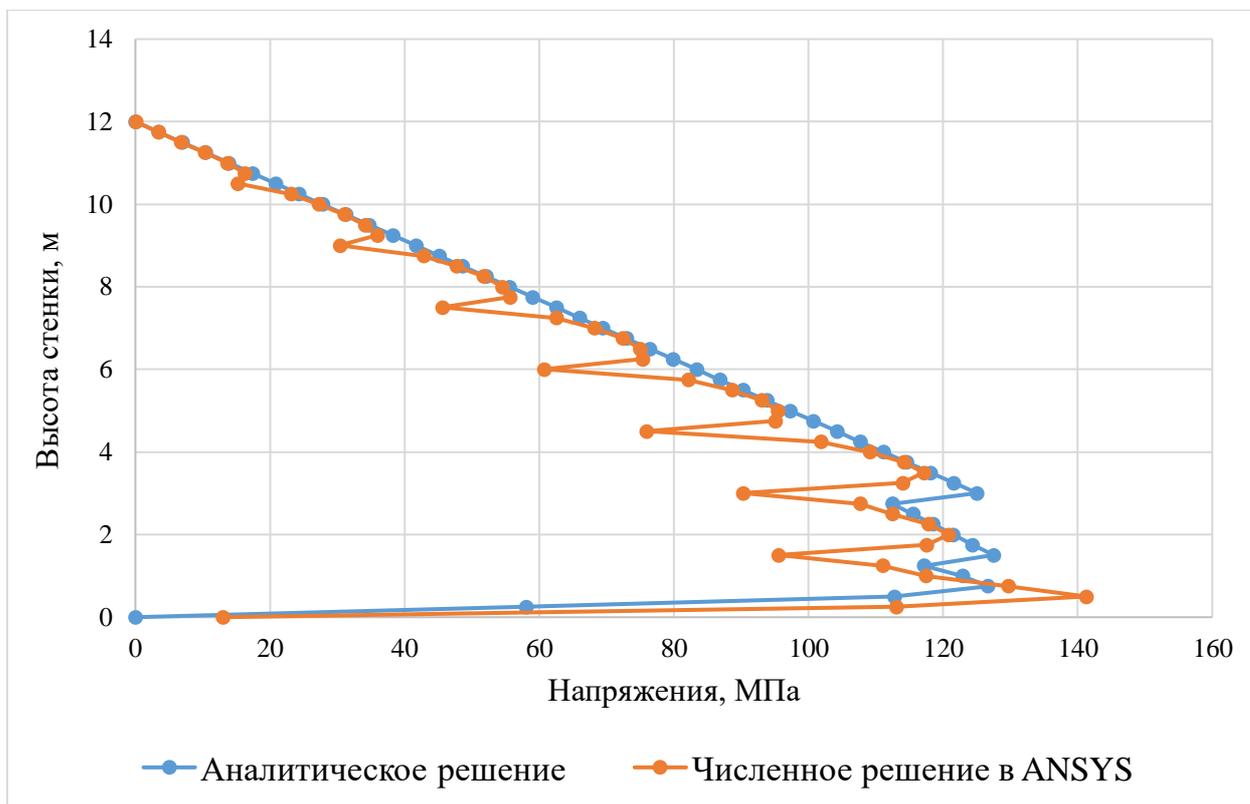


Рисунок 56 – Напряжения в стенке резервуара в зависимости от высоты

Разница в результатах решения аналитической и численной задачи для перемещений составляет 3,82 %, а для напряжений 3,81 %. Таким образом разница составляет менее 4%, построенную и рассчитанную модель резервуара в программном комплексе ANSYS можно считать адекватной, дальнейшее использование данной модели будет реализовано в исследовании напряженно-деформированного состояния вертикального стального резервуара объемом 5000 м<sup>3</sup>.

Далее рассмотрим построенную модель под действием реальных нагрузок, таких как гидростатическое давление, действующее на максимальную высоту разлива резервуара (плотность нефти 870 кг/м<sup>3</sup>), давление от снеговой нагрузки на крышу резервуара и ветровое давление на стенку, все приложенные нагрузки на конструкцию РВС-5000 приведены на рисунке 57.

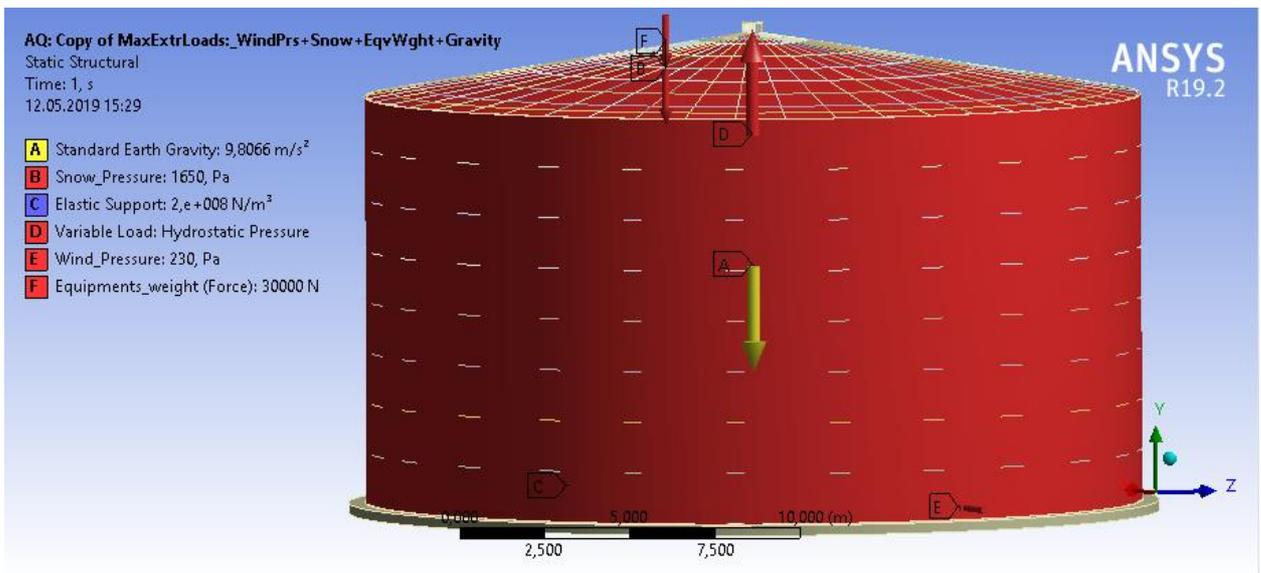


Рисунок 57 – Приложенные нагрузки, действующие на РВС-5000

После приложения нагрузок проведем расчет на выявление общей деформации и эквивалентных напряжений, результаты которого представлены на рисунках 58 и 59 соответственно.

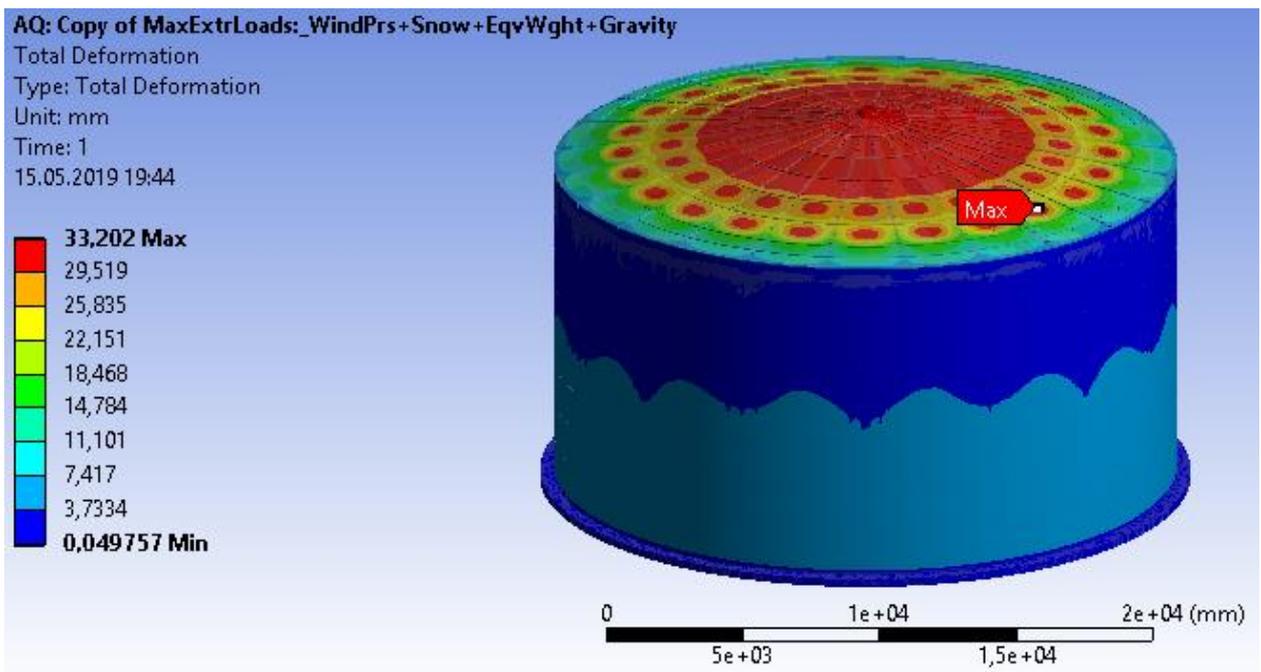


Рисунок 58 – Общая деформация РВС-5000

Из рисунка 58 видно, что деформируется в основном коническая щитовая крыша резервуара, так как конструкция выполнена без центральной стойки. Максимальные прогибы отражаются в центральной части крыши и составляют 33 мм, а также локальные просадки, между несущими балками и

дополнительными опорными кольцами конструкции. Данные прогибы допустимы, они составляют меньше 1/100 пролета.

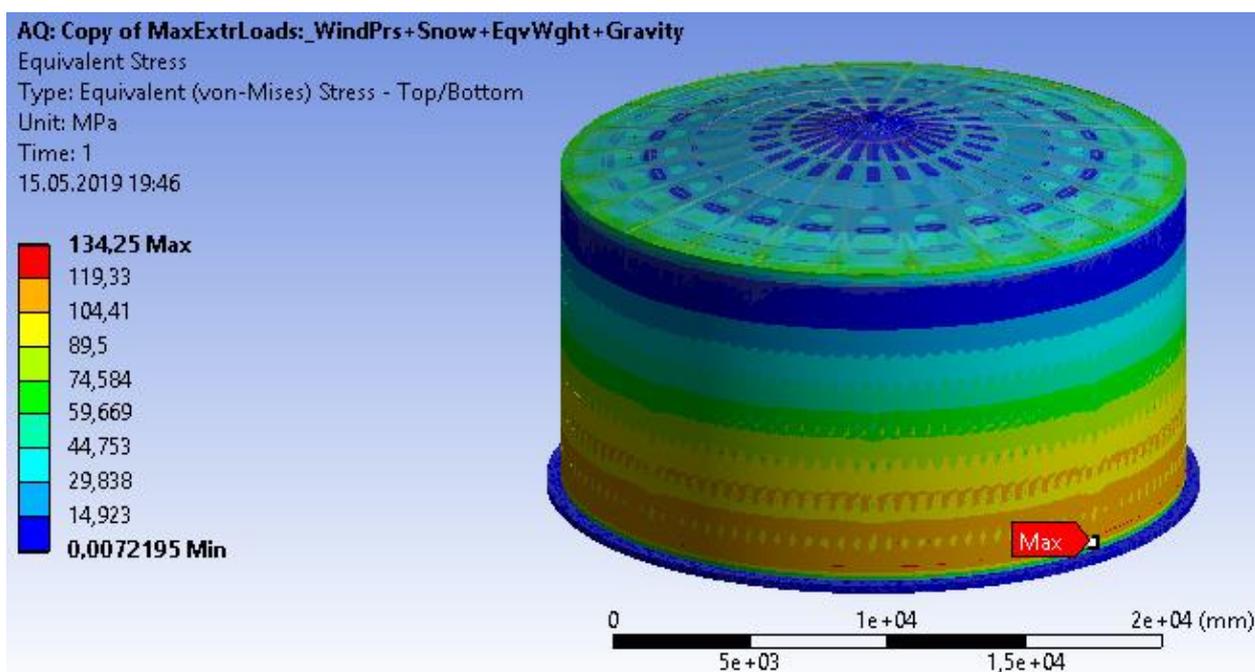


Рисунок 59 – Эквивалентные напряжения РВС-5000

Из рисунка 59 видно, что максимальная величина напряжения находится в первом поясе резервуара, так как действует гидростатическая нагрузка, и составляет порядка 134 МПа. Напряжение является вполне адекватным, так как предел текучести стали 09Г2С, из которого выполнена модель резервуара, составляет 345 Мпа.

Так же необходимо проверить резервуар при нагрузках, которые действуют на него в условиях гидроиспытаний. В нашем случае будет отсутствовать снеговая нагрузка, и нефть будет заменена на воду (плотность воды 1000 кг/м<sup>3</sup>). Результат представлен на рисунке 60.

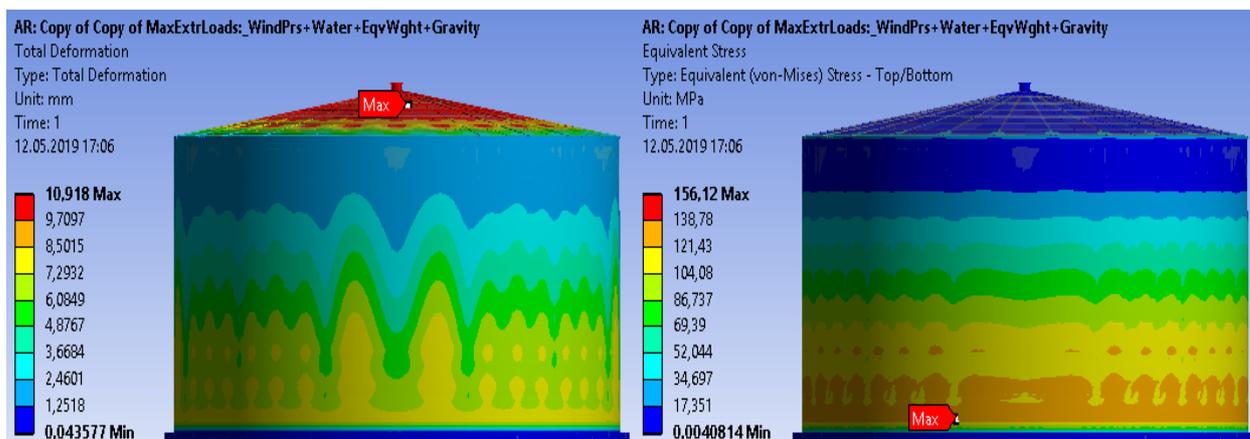


Рисунок 60 – Деформация и эквивалентные напряжения РВС-5000 при гидроиспытаниях

При гидроиспытаниях основная часть деформации также приходится на коническую щитовую крышу резервуара (рисунок 60), но она в 3 раза меньше, так как отсутствует давление при действии снеговой нагрузки. Максимальные прогибы отражаются в центральной части крыши и составляют 11 мм, а также локальные просадки, между несущими балками и дополнительными опорными кольцами конструкции. Из рисунка 60 видно, что максимальная величина напряжения также находится в первом поясе резервуара, так как действует гидростатическая нагрузка от воды, и составляет порядка 156 МПа, так как плотность воды немного выше, чем у нефти.



## Глава 4. Социальная ответственность

Исследование напряженно-деформированного состояния резервуара при неравномерной осадке его основания является очень важной задачей, поскольку этот процесс позволяет наглядно изучить проблему и сделать необходимые выводы о дальнейшей эксплуатации резервуара или выведению его из эксплуатации для ремонта.

Основная проблема при неравномерной осадке основания резервуара — это разгерметизация, которая приведет к катастрофическим последствиям (взрыв, пожар, розлив), дальнейшая эксплуатация такого объекта будет или невозможна, или стоить большого количества затрат на его восстановление.

					Исследование напряженно-деформированного состояния резервуара вертикального стального типа РВС-5000 куб.м при развитии неравномерных осадок его основания			
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата				
Разраб.		Асанов А.В.			<b>Социальная ответственность</b>	Лит.	Лист	Листов
Руковод.		Шадрина А.В.					80	124
Консульт.		Черемискина				<b>ТПУ, ИШПР Группа 2БМ72</b>		
Рук-ль ООП		Шадрина А.В.						

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

### **4.1.1 Специальные правовые нормы трудового законодательства при выполнении работ за ПЭВМ**

Выполнение работы по исследованию напряженно-деформированного состояния резервуара будет выполняться в программном обеспечении ANSYS, для которого необходимо наличие персональной электро-вычислительной машины (ПЭВМ). Нормативное регулирование охраны труда при осуществлении трудовой деятельности за компьютерами осуществляется посредством следующих документов:

- Типовая инструкция ТОИ Р-45-084-01;
- СанПиН 2.2.2. / 2.4. 1340-03 (далее – СанПиН);
- ТК РФ;
- Приказ Минздравсоцразвития РФ № 302н;
- 426-ФЗ.

Эти нормативные документы регламентируют: расположение рабочих мест с компьютерами, правильное их использование, перерывы между работой, требования безопасности перед началом, во время и по завершению работ, а также требования безопасности в аварийных ситуациях.

### **4.1.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны**

Рабочие места должны располагаться так, чтобы естественный свет падал сбоку, преимущественно слева. Оконные проемы должны быть оборудованы регулируемыми устройствами типа: жалюзи, занавесей, внешних козырьков и др.

Рабочая мебель для пользователей компьютерной техникой должна отвечать следующим требованиям:

					<i>Социальная ответственность</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		81

- высота рабочей поверхности стола должна составлять 725 мм или регулироваться в пределах 680-800 мм;

- рабочий стол должен иметь пространство для ног высотой не менее 600 мм, глубиной на уровне колен не менее 450 мм и на уровне вытянутых ног не менее 650 мм;

- рабочий стул (кресло) должен быть подъемно - поворотным и регулируемым по высоте и углам наклона сиденья и спинки, а также - расстоянию спинки от переднего края сиденья.

Для нормализации аэроионного фактора помещений с компьютерами необходимо использовать устройства автоматического регулирования ионного режима воздушной среды (например, аэроионизатор стабилизирующий "Москва-СА1") [43].

#### *Требования безопасности перед началом работы*

Подготовить рабочее место. Отрегулировать освещение на рабочем месте, убедиться в отсутствии бликов на экране. Проверить правильность подключения оборудования к электросети. Проверить исправность проводов питания и отсутствие оголенных участков проводов. Убедиться в наличии заземления системного блока, монитора и защитного экрана. Протереть антистатической салфеткой поверхность экрана монитора и защитного экрана. Проверить правильность установки стола, стула, подставки для ног, подпитра, угла наклона экрана, положение клавиатуры, положение "мыши" на специальном коврикe, при необходимости произвести регулировку рабочего стола и кресла, а также расположение элементов компьютера в соответствии с требованиями эргономики и в целях исключения неудобных поз и длительных напряжений тела.

#### *Требования безопасности во время работы*

При работе на ПК запрещается:

- прикасаться к задней панели системного блока (процессора) при включенном питании;

					Социальная ответственность	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		82

- переключать разъемы интерфейсных кабелей периферийных устройств при включенном питании;
- допускать попадание влаги на поверхность системного блока (процессора), монитора, рабочую поверхность клавиатуры, дисководов, принтеров и других устройств;
- производить самостоятельное вскрытие и ремонт оборудования;
- работать на компьютере при снятых кожухах;
- отключать оборудование от электросети и выдергивать электровилку, держа за шнур.

*Требования безопасности по окончании работы*

Отключить питание компьютера. Привести в порядок рабочее место. Выполнить упражнения для глаз и пальцев рук на расслабление [44].

## 4.2 Производственная безопасность

### 4.2.1 Анализ вредных и опасных факторов, которые может создать резервуар при его эксплуатации

Рассмотрим вредные и опасные факторы при эксплуатации резервуара, которые представлены в таблице 17.

Таблица 17 – Формирующие вредные и опасные факторы при эксплуатации резервуара

Наименования работ	Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	
Эксплуатация резервуара	1.Повышенная загазованность воздуха рабочей зоны	1. Оборудование, работающее под давлением  2. Пожарная и взрывная безопасность	ГН 2.2.5.3532-18 НП-044-18 СП 155.13130.2014

Вредный производственный фактор – фактор производственной среды и (или) трудового процесса, воздействие которого в определенных условиях

на организм работающего может сразу или впоследствии привести к заболеванию, в том числе смертельному, или отразиться на здоровье потомства пострадавшего, или в отдельных специфичных случаях перехода в опасный производственный фактор – вызвать травму.

Опасный производственный фактор – фактор производственной среды и (или) трудового процесса, воздействие которого в определенных условиях на организм работающего может привести к травме, в том числе смертельной [45].

### **Повышенная загазованность воздуха рабочей зоны**

Контроль воздушной среды должен проводиться в зоне дыхания при характерных производственных условиях посредством газоанализатора.

Содержание вредных веществ в воздухе рабочей зоны не должно превышать предельно допустимых концентраций (ПДК). Предельно допустимая концентрация пыли, как вещества умеренно опасного, в воздухе рабочей зоны составляет 1,1-10 мг/м<sup>3</sup>, для природного газа ПДК 300 мг/м<sup>3</sup>. При работе в местах, где концентрация вредных веществ в воздухе может превышать ПДК, работников должны обеспечивать соответствующими противогазами (ПШ-1, ПШ-2). При работе с вредными веществами 1-, 2-, 3-го классов опасности (ртуть, одорант, сероводород, метанол, диэтиленгликоль и т.д.) должно быть обеспечено регулярное обезвреживание и дезодорирование СИЗ. Уменьшение неблагоприятного воздействия запыленности и загазованности воздуха достигается за счет регулярной вентиляции рабочей зоны. Работающие в условиях пылеобразования должны быть в противопыльных респираторах («Лепесток», Ф-62Ш, У-2К, «Астра-2», РПКМ и др.), защитных очках и комбинезонах [46].

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

При несоблюдении правил безопасности в процессе эксплуатации резервуаров возникает повышенная опасность.

					Социальная ответственность	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		84

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

Конструкция сосудов должна обеспечивать надежность и безопасность эксплуатации в течение расчетного срока службы и предусматривать возможность проведения технического освидетельствования, очистки, промывки, полного опорожнения, продувки, ремонта, эксплуатационного контроля металла и соединений. Сварные швы должны быть стыковыми и доступны для контроля при изготовлении, монтаже и эксплуатации.

Ответственность за исправное состояние и безопасную эксплуатацию сосудов должна быть возложена на специалиста, которому подчинен персонал, обслуживающий сосуды [47].

### **Пожарная и взрывная безопасность**

В процессе хранения нефти в резервуаре, углеводороды, входящие в состав нефтяных паров при взаимодействии с воздухом, образуют взрывоопасную смесь. Одна из причин образования паровоздушных смесей – это утечки через фланцевые соединения приемо-раздаточных патрубков резервуара.

Нефть относится к категории и группе взрывоопасных смесей - ПА–ТЗ, где ПА – категория смеси, соответствующая промышленным парам нефти, ТЗ – группа, соответствующая температуре самовоспламенения свыше 200°С до 300°С.

Резервуарный парк относится:

- к категории «А» по взрыво- и пожароопасности;
- к классу взрывоопасности «В-1а»;
- к категории молниезащиты «II».

С целью обеспечения взрыво- и пожаробезопасности в резервуарных парках для паров углеводородов установлена предельно-допустимая взрывобезопасная концентрация ПДВК = 2100мг/м<sup>3</sup>.

Методы устранения причин взрывов и пожаров в резервуарном парке.

Организационные меры:

выполнение требований проекта производственных работ и наряда-допуска;

обучение и разработку планов эвакуации людей в случае пожара;

Технические меры:

обеспечение места проведения огневых работ первичными средствами пожаротушения (огнетушитель ОП-50 – 2шт., асбестовое полотно 2x1,5 -2шт, ящик с песком – не менее 1,5м<sup>3</sup>, багор и т.д.);

– обеспечение на месте проведения огневых работ пожарного хода[48].

#### **4.2.2 Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть на рабочем месте при проведении исследований резервуара**

Рассмотрим формирующие вредные и опасные факторы при исследовании напряженно-деформированного состояния резервуара за ПЭВМ, которые представлены в таблице 18.

Таблица 18 - Формирующие опасные и вредные факторы при исследовании напряженно-деформированного состояния резервуара.

Наименования работ	Вредные факторы, при работе с ПЭВМ (ГОСТ 12.0.003-2015)	Нормативные документы
Исследование напряженно-деформированного состояния резервуара за ПЭВМ	1. Отклонение показателей микроклимата 2. Повышенный уровень шума и вибрации; 3. Недостаточная освещенность; 4. Повышенный уровень электромагнитных излучений.	СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 СН 2.2.4/2.1.8.562

## Отклонение показателей микроклимата

Исследование напряженно-деформированного состояния будет проводиться в компьютерном классе 20 корпуса Томского политехнического университета. В компьютерных классах всех типов образовательных учреждений, где расположены ПЭВМ, должны обеспечиваться оптимальные параметры микроклимата (таблица 19).

Таблица 19 - Оптимальные параметры микроклимата с использованием ПЭВМ

Температура, °С	Относительная влажность, %	Абсолютная влажность, г/мм <sup>3</sup>	Скорость движения воздуха, м/с
19	62	10	<0,1
20	58	10	<0,1
21	55	10	<0,1

В помещениях, оборудованных ПЭВМ, проводится ежедневная влажная уборка и систематическое проветривание после каждого часа работы на ЭВМ [49].

## Повышенный уровень шума и вибрации

Уровни шума на рабочих местах пользователей персональных компьютеров не должны превышать значений, установленных СанПиН 2.2.4/2.1.8.562-96 и составляют не более 50 дБА. На рабочих местах в помещениях для размещения шумных агрегатов уровень шума не должен превышать 75 дБА, а уровень вибрации в помещениях допустимых значений по СН 2.2.4/2.1.8.566-96 категория 3, тип «в».

Снизить уровень шума в помещениях можно использованием звукопоглощающих материалов с максимальными коэффициентами звукопоглощения в области частот 63-8000 Гц для отделки стен и потолка помещений. Дополнительный звукопоглощающий эффект создают однотонные занавески из плотной ткани, повешенные в складку на расстоянии 15-20 см от ограждения. Ширина занавески должна быть в 2 раза больше ширины окна [50].

## Недостаточная освещенность

Рабочие столы в компьютерном классе следует размещать таким образом, чтобы видеодисплейные терминалы были ориентированы боковой стороной к световым проемам, чтобы естественный свет падал преимущественно слева.

Освещенность на поверхности стола в зоне размещения рабочего документа должна быть 300-500 лк. Освещение не должно создавать бликов на поверхности экрана. Освещенность поверхности экрана не должна быть более 300 лк.

Для обеспечения нормируемых значений освещенности в помещениях для использования ПЭВМ следует проводить чистку стекол оконных рам и светильников не реже двух раз в год и проводить своевременную замену перегоревших ламп [49].

## Повышенный уровень электромагнитных излучений

Временные допустимые уровни ЭМП, создаваемых ПЭВМ в помещениях образовательных учреждений, представлены в таблице 20.

Таблица 20. Временные допустимые уровни ЭМП, создаваемых ПЭВМ на рабочем месте

Наименование параметров		ВДУ
Напряженность электрического поля	В диапазоне частот 5 Гц – 2 кГц	25 В/м
	В диапазоне частот 2 кГц – 400 кГц	2,5 В/м
Плотность магнитного потока	В диапазоне частот 5 Гц – 2 кГц	250 нТл
	В диапазоне частот 2 кГц – 400 кГц	25 нТл
Напряженность электростатического поля		15кВ/м

Фоновые уровни индукции магнитного поля не должны превышать значений, вызывающих нарушения требований к визуальным параметрам ВДТ (табл. 21) [49].

Таблица 21. Временные допустимые уровни ЭМП, создаваемых ПЭВМ на рабочем месте

№	Параметры	Допустимые значения
1	Яркость белого поля	Не менее 35 кд/м <sup>2</sup>
2	Неравномерность яркости рабочего поля	Не более ± 20 %
3	Контрастность	Не менее 3:1
4	Временная нестабильность изображения (мелькание)	Не должна фиксироваться
5	Пространственная нестабильность изображения (дрожание)	Не более $2 \cdot 10^{-4}L$ , где L – проектное расстояние наблюдения

#### 4.2.3 Обоснование мероприятий по защите исследователя от действия опасных и вредных факторов

При размещении рабочих мест с ПЭВМ расстояние между рабочими столами с видеомониторами (в направлении тыла поверхности одного видеомонитора и экрана другого видеомонитора), должно быть не менее 2,0 м, а расстояние между боковыми поверхностями видеомониторов - не менее 1,2 м.

Экран видеомонитора должен находиться от глаз пользователя на расстоянии 600-700 мм, но не ближе 500 мм с учетом размеров алфавитно-цифровых знаков и символов.

Конструкция рабочего стола должна обеспечивать оптимальное размещение на рабочей поверхности используемого оборудования с учетом его количества и конструктивных особенностей, характера выполняемой работы.

Конструкция рабочего стула (кресла) должна обеспечивать поддержание рациональной рабочей позы при работе на ПЭВМ. Поверхность сиденья должна быть полумягкой, с нескользящим, слабоэлектризующимся и воздухопроницаемым покрытием, обеспечивающим легкую очистку от загрязнений.

Оптимальное время учебных занятий при работе с ВДТ или ПЭВМ для студентов старших курсов - 2 ч с обязательным соблюдением между двумя академическими часами занятий перерыва длительностью 15—20 мин, а также соблюдение профилактических мероприятий: упражнения для глаз, физкультминутка и физкультпауза [49].

### 4.3 Экологическая безопасность

Согласно РД 51-1-96 при разработке проектной, прединвестиционной документации по технологическому объекту повышенной опасности необходимо ознакомиться и составить аналитическую документацию, характеризующую воздействие данного объекта на окружающую среду.

Экологический мониторинг в период ремонта резервуаров организуется с целью получения достоверной информации об экологическом состоянии окружающей среды, на которую оказывается воздействие в ходе выполнения строительно-монтажных работ. В задачи мониторинга в период ремонта РВС входят:

- осуществление регулярных наблюдений за техногенным воздействием производственного объекта на компоненты природной среды;
- осуществление регулярных наблюдений за состоянием компонентов природной среды и оценка их изменения;
- анализ и обработка полученных в процессе мониторинга данных.

Результаты экологического мониторинга используются в целях контроля за соблюдением проектных решений при производстве строительных работ, а также за реализацией и эффективностью предусмотренных проектом природоохранных мероприятий, направленных на снижение или ликвидацию отрицательного антропогенного воздействия на природную среду в процессе ремонта, на сохранение и рациональное использование природных ресурсов.

					<i>Социальная ответственность</i>	<i>Лист</i>
						90
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

## Воздействие на литосферу

В процессе проведения капитального ремонта РВС воздействие на литосферу характеризуется загрязнением почвы производственными отходами, применяемыми при тех или иных технологических процессах.

При ремонте резервуаров образуются следующие виды отходов:

- шлам от зачистки резервуаров для хранения нефтепродуктов;
- отработанные обтирочные материалы (ветошь);
- окалина, сварочный шлак;
- твердые отходы при очистке конструкций резервуара от ржавчины и старых лакокрасочных покрытий;
- вода после гидравлического испытания.

Для снижения негативных экологических последствий, возникающих при ремонте резервуаров, которые влияют на почвенно-растительный покров должны быть предусмотрены мероприятия:

- сбор твердых отходов в контейнеры-накопители;
- сооружение подъездных дорог в каре резервуара с покрытием железобетонными дорожными плитами в местах переездов через подземные технологические нефтепроводы и инженерные коммуникации;
- складирование плодородного слоя почвы для последующего его использования при рекультивации нарушенных земель;
- сокращение количества потерь отходов материалов, образующихся при сварочно-монтажных работах;
- сбор кварцевого песка (отработанного);
- сбор отходов ржавчины металла и старого лакокрасочного покрытия;
- утилизация промышленных и бытовых отходов.

На участке должен проводиться постоянный контроль за состоянием рабочих емкостей и контейнеров с отходами. Места

					Социальная ответственность	Лист
						91
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

временного хранения и накопления отходов должны соответствовать требованиям техники безопасности, санитарно-гигиеническим нормам.

Места сбора и накопления отходов должны быть оборудованы углекислотными огнетушителями, ящиками с песком, лопатой, войлоком, кошмой или асбестом [51].

### **Воздействие на атмосферу**

Загрязняющие атмосферный воздух вещества могут образовываться при проведении ниже перечисленных работах на резервуарах:

- при монтаже или ремонте конструкций резервуара, связанного с электродуговой сваркой, пескоструйной очисткой металлической поверхности резервуара под нанесение защитного антикоррозионного покрытия;
- при обезжиривании металлической поверхности конструкций резервуара протиркой уайт-спиритом;
- при окраске поверхности металлических конструкций эмалевыми красками;
- при работе двигателей транспортной, строительно-монтажной техники.

Наибольшее воздействие на атмосферу представляют различные машины, используемые при ремонте резервуара. Второстепенное воздействие оказывают сварочные работы, работы по резке металла, покрытие резервуаров от коррозии. При работе различных частей машин и механизмов выделяются оксиды углерода, оксиды азота, диоксиды сера, керосин, углерод. При сварочных работах выделяется сварочный аэрозоль, в состав которого входят: оксид железа, марганец и его соединения, пыль неорганическая: 70-20% двуокиси кремния, фтористые газообразные соединения, оксид азота (IV), оксид углерода. Для защиты резервуара от коррозии используются импортные покрывные материалы. Чаще всего покрытие осуществляется методом распыления, что чревато выделением аэрозоля краски. Для снижения уровня загрязнения необходимо:

					<i>Социальная ответственность</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		92

- использование экологически безопасных источников энергии;
- использование безотходной технологии производства;
- борьба с выхлопными газами автомобилей [52].

### **Воздействие на гидросферу**

В процессе проведения капитального ремонта резервуара, появляется большое количество отходов производства. Утилизация таких отходов должна быть осуществлена только в специально предназначенные для этого места. Не допускается сброс отходов в водные источники, во избежание загрязнений водного ресурса для того, чтобы воздействие при ремонте резервуара было минимальным необходимо проводить следующие мероприятия: все горюче-смазочные материалы должны быть слиты в отведенные для этого места; промышленные и бытовые отходы должны быть утилизированы в отведенные для этого места; вывоз отходов должен быть санкционированным и своевременным; мойку и ремонт машин, применяемых при ремонте резервуара необходимо осуществлять только в отведенных для этого местах [53].

## **4.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях**

### **4.4.1 Безопасность в чрезвычайных ситуациях при эксплуатации резервуаров**

Чрезвычайная ситуация (ЧС) - это обстановка на определенной территории, сложившаяся в результате аварии, опасного природного явления, катастрофы, стихийного или иного бедствия, которые могут повлечь или повлекли за собой человеческие жертвы, ущерб здоровью людей или окружающей природной среде, значительные материальные потери и нарушение условий жизнедеятельности людей [54].

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

- по причине техногенного характера;

					<i>Социальная ответственность</i>	<i>Лист</i>
						93
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

- попадание в резервуар молнии;
- лесные пожары.

Аварии в резервуарном парке могут привести к возникновению чрезвычайных ситуаций. Основными причинами возникновения аварий являются: коррозионные разрушения, малые и большие дыхания, перепады температур, вакуум, неверное техническое обслуживание, отказ приборов контроля и сигнализирования, факторы внешнего воздействия (молнии, ураганы и прочее).

Для предупреждения попадания молний в резервуар с нефтью необходимо устанавливать молниеотводы, корпус резервуара должен быть заземлён. По периметру резервуара необходимо устанавливать заземлители через каждые 50 м. Также, заземляют все коммуникации, находящиеся на объекте.

Для защиты резервуарных парков от лесных пожаров необходимо выкорчёвывать деревья и кусты на 25 м от территории резервуарного парка.

При переливе нефтепродукта из резервуара ответственному смены следует остановить заполнение резервуара, вызвать пожарную охрану, известить своего или вышестоящего руководителя, соблюдая меры безопасности, приступить к ликвидации аварии [55].

### **Алгоритм действия при ЧС**

Первый, заметивший разлив нефтепродуктов, всеми доступными средствами (средствами связи, оповещения, голосом, знаками), оповещает дежурного диспетчера. Дежурный диспетчер оповещает руководителя комиссии по предупреждению и ликвидации чрезвычайных ситуаций, который, получив информацию, прекращает производственный процесс, анализирует сложившуюся обстановку, немедленно оповещает руководство, вызывает на место аварии аварийно-восстановительное звено. До прибытия аварийно-спасательного формирования руководитель комиссии по предупреждению и ликвидации чрезвычайных ситуаций в ходе управления

					<i>Социальная ответственность</i>	<i>Лист</i>
						94
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

мероприятиями по ликвидации последствий аварийного разлива нефтепродуктов выполняет следующие действия:

- оценивает размеры и прогнозирует дальнейший ход развития аварии;
- организывает отключение и обесточивание электроустановок;
- организывает доставку к месту разлива нефтепродуктов и подготовку к действию штатных средств пожаротушения;
- обеспечивает соблюдение режима противопожарной безопасности;
- организывает вывод персонала из опасной зоны, непосредственно не участвующий в ликвидации аварийного разлива нефтепродукта;
- сообщает на пульт оперативного дежурного территориального органа МЧС об аварийной ситуации, при необходимости вызывает расчеты аварийно-спасательных формирований и служб МЧС;
- сообщает об аварийной ситуации и при необходимости вызывает расчеты аварийных формирований в соответствии с заключенными договорами;
- организывает оцепление зоны разлива нефтепродуктов, ограничивает допуск людей и транспортных средств, обеспечивает установку предупреждающих и запрещающих знаков;
- обеспечивает связь и сбор информации о ходе ликвидации разлива, ведение оперативного журнала;
- контролирует прибытие расчетов аварийно-спасательных формирований [56].

#### **4.4.2 Безопасность в чрезвычайных ситуациях при эксплуатации ПЭВМ**

При работе компьютерной техники выделяется много тепла, что может привести к пожароопасной ситуации. Источниками зажигания так же могут служить приборы, применяемые для технического обслуживания, устройства электропитания, кондиционеры воздуха. Серьезную опасность представляют

					Социальная ответственность	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		95

различные электроизоляционные материалы, используемые для защиты от механических воздействий отдельных радиодеталей.

В связи с этим, участки, на которых используется компьютерная техника, по пожарной опасности относятся к категории пожароопасных “В”.

При пожаре люди должны покинуть помещение в течение минимального времени. План эвакуации работников при пожаре представлен на рисунке 80.

Для тушения пожаров необходимо применять углекислотные и порошковые огнетушители, которые обладают высокой скоростью тушения, большим временем действия, возможностью тушения электроустановок, высокой эффективностью борьбы с огнем. Воду разрешено применять только во вспомогательных помещениях.

Исходя из норм пожарной безопасности, для машинного зала площадью до 100 м<sup>2</sup> (для нашего случая около 54 м<sup>2</sup>) требуются следующие первичные средства пожаротушения:

- один углекислотный огнетушитель типа ОУ-5 или ОУ-8, с помощью которого можно тушить загорания различных материалов и установок напряжением до 1000 В;
- один порошковый огнетушитель [57].

Помещение кабинета должно быть оборудовано пожарными извещателями, которые позволяют оповестить дежурный персонал о пожаре.

Пожарные извещатели преобразуют неэлектрические физические величины (излучение тепловой или световой энергии, движение частиц дыма) в электрические, которые в виде сигнала определенной формы направляются по проводам на приемную станцию.

В качестве пожарных извещателей устанавливаются дымовые фотоэлектрические извещатели типа ИДФ-1 или ДИП-1. Исходя из высоты потолка (4 м) и площади помещения (30-40 м<sup>2</sup>) по нормам достаточно одного извещателя на весь офис. Эти устройства характеризуются высокой скоростью и надежностью срабатывания.

					Социальная ответственность	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		96

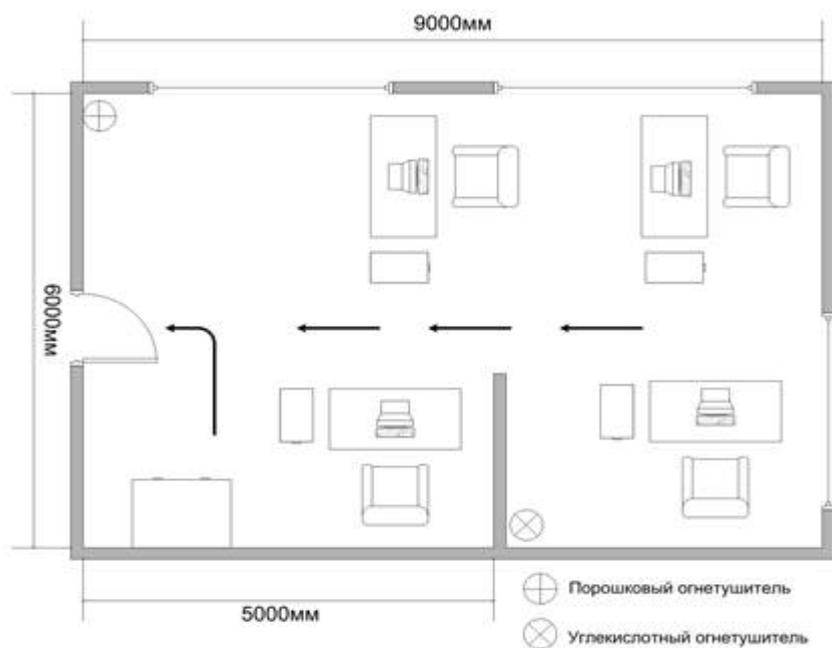


Рисунок 80. План эвакуации при пожаре

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

## Глава 5. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

### 5.1 Обоснование потребности в материально-технических и трудовых ресурсах и календарного плана работ

Прежде чем провести расчет затрат на проведение мероприятия необходимо составить календарный план работ, с указанием выполняемых работ и времени, необходимого на проведение этих работ. Потребность в рабочих и оборудовании сведена в таблице 22.

Таблица 22 – Состав бригад и количество необходимого оборудования

№ п/п	Состав бригад, оборудование	Количество
<b>Для выполнения сварочных работ</b>		
<b>Состав бригады электросварщиков ручной дуговой сварки</b>		
1.	электросварщик 6 разряд	2 чел.
2.	газорезчик 5 разряда	2 чел.
<b>Оборудование сварочного поста ручной дуговой сварки:</b>		
1.	выпрямитель сварочный ВДУ-306УЗ	2 шт.
2.	пост газовой резки	2 шт.
<b>Сварочные материалы для ручной дуговой сварки</b>		
1.	электроды типа Э50А ГОСТ 9467-75	По расчету
<b>Для монтажа металлоконструкций</b>		
<b>Состав бригады монтажников</b>		
1.	монтажник 5 разряда	2 чел.
2.	монтажник 4 разряда	2 чел.
<b>Оборудование и приспособления</b>		
1.	лебедка с тяговым усилием 100 кН ЛМЭ -10-510	2 шт.
2.	монтажный блок грузоподъемностью 100 кН	1 шт.
3.	стропы (трос)	по потребности

					Исследование напряженно-деформированного состояния резервуара вертикального стального типа РВС-5000 куб.м при развитии неравномерных осадок его основания			
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата				
Разраб.	Асанов А.В.				Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Лит.	Лист	Листов
Руковод.	Шадрина А.В.						98	124
Консульт.	Романюк В.В.					ТПУ, ИШПР Группа 2БМ72		
Рук-ль ООП	Шадрина А.В.							

4.	лом строительный лом ЛМ-24 ГОСТ 1405-83	2 шт.
5.	тупоносая кузнечная кувалда ГОСТ 11401-75*	2 шт.
6.	гаечные ключи двусторонние 8x10, 12x13, 14x17, 19x22, 24x27,32x36 ГОСТ 2839-80*Е	1 комплект
7.	стальная чертилка	2 шт.
8.	машинка шлифовальная ИЭ-2031А	2 шт.
9.	УШС-3 шаблон сварщика	4 шт.
10.	электродержатель ЭА-315	4 шт.
11.	печь электрическая для проковки электродов СНО-5,5/5-И 1	1 шт.
12.	пенал для электродов	4 шт.
13.	кабель сварочный КРПТ 3x16	75 п.м.
14.	стальной слесарный молоток МКП ГОСТ 2310-77*Е	2 шт.
15.	зубило слесарное ГОСТ 7211-86*Е	2 шт.
16.	набор мелков	по потребности
17.	рулетка металлическая	2 шт.
18.	металлический угольник ТУ 22-400-79	1 шт.
19.	лицевой защитный щиток электросварщика ГОСТ	4 шт.
20.	12.4.035-78*	
21.	сменные защитные стекла	по потребности
22.	очки газорезчика со светофильтрами Г1-73	2 шт.
23.	каска защитная виниловая ГОСТ 12.4.087-84	по потребности
24.	комплект спецодежды	по потребности
<b>Для пооперационного контроля</b>		
<b>Геодезисты</b>		
1.	геодезист третьего - четвертого класса	1 чел.
<b>Оборудование и приспособления</b>		
1.	теодолит 2Т30	1 шт.
2.	нивелир Н-ЗКЛУ1	1 шт.
3.	рейка нивелирная РН-3-3000	1 шт.

4.	Штатив	1 шт.
<b>Дефектоскописты</b>		
1.	дефектоскопист (R-контроль, Визуальный контроль, капиллярный контроль)	2 чел.
<b>Оборудование и приспособления</b>		
1.	шаблон сварщика УШС-3	1 шт.
2.	компрессор с комплектом вакуум камер	1 шт.
3.	рентген аппарат	1 шт.

Таблица 23 – Календарный план работ [58]

№ п/п	Виды проводимых работ	Время на выполнение работ, час
1.	Обустройство проезда через обвалование для строительной-монтажной техники через обвалование.	4
2.	Для резки демонтированных элементов обустройство площадки.	4
3.	Устройство временных площадок хранения материалов и оборудования.	4
4.	Устройство распределительных щитов и временной электропроводки для обеспечения работы сварочных агрегатов и другого электрооборудования.	4
5.	Ремонт (замена) листов стенки.	120
6.	Ремонт (замена) днища, окраек.	100
7.	Замена наружных трубопроводов.	60
8.	Замена ГПСС-2000.	40
9.	Ремонт шахтной лестницы, переходных площадок.	40
10.	Изготовление и монтаж площадок обслуживания приборов КИПиА.	40
11.	Изготовление и монтаж площадки обслуживания фланцевой пары кольца орошения.	40
12.	Устройство контура заземления.	30

13.	Ремонт отмотки резервуара.	40
14.	Устройство системы пожаротушения	60
15.	Контроль сварных соединений R-контроль, капиллярный метод.	100
16.	Гидроиспытание резервуара на прочность и плотность, с нивелировкой вертикальности стенок резервуара.	100
17.	Зачистка наружной и внутренней поверхности РВСП, площадок обслуживания и лестниц, перед нанесением антикоррозионного покрытия.	240
18.	Нанесение антикоррозионного покрытия на наружную и внутреннюю поверхности РВС, площадки обслуживания и лестницы.	200
19.	Замена подземных участков трубопроводов в каре РВСП.	60
20.	Изготовление и монтаж пешеходных дорожек в каре РВСП.	24
21.	Очистка территории, резка, пакетирование и вывоз металлолома.	24
22.	Восстановление обвалования РВСП	8

## 5.2 Расчет затрат на проведение мероприятий по ремонту РВС-5000

Состав затрат формируется по определенным элементам:

- затраты на оплату труда;
- материальные затраты;
- отчисления на социальные нужды;
- амортизационные отчисления;
- прочие расходы.

К материальным расходам относятся затраты на приобретение:

- сырья, основных и вспомогательных материалов, используемых в производственном процессе;

- запасных частей, комплектующих изделий, тары и др.; в) топлива, воды и энергии всех видов, используемых на производственные нужды и отопление;
- работ и услуг производственного характера, выполняемых сторонними организациями или индивидуальными предпринимателями, а также собственными структурными подразделениями предприятия (транспортные услуги, контроль за соблюдением технологического процесса, средств связи, компьютерной техники и др.);
- на содержание и эксплуатацию природоохранных сооружений.

Сумма материальных расходов уменьшается на стоимость возвратных отходов. Возвратные отходы оцениваются по пониженной цене, если они могут быть использованы в основном или вспомогательном производстве, или по цене реализации, если они реализуются на сторону

К материальным расходам приравниваются:

- расходы на рекультивацию земель и другие природоохранные мероприятия;
- потери при транспортировке товароматериальных ценностей в пределах норм естественной убыли;
- технологические потери при производстве и (или) транспортировке [59].

Расчет стоимости материалов представлен в таблице 24.

Таблица 24 – Расчет стоимости материалов на проведение мероприятия

Наименование материала	Норма расхода материала, нат. ед.	Цена за единицу, руб./нат. ед.	Стоимость материалов, тыс.руб.
Материалы общестроительные	–	–	404,3

Подъем и перевозка грузов наемным транспортом	–	–	89,6
Трубы и фасонные изделия	–	–	77,7
ГПСС-2000	2 шт.	12450	22,5
Материалы для антикоррозийной обработки	–	–	172,6
Итого	–	–	766,7

К расходам на оплату труда относятся:

Суммы, начисленные по тарифным ставкам, должностным окладам, сдельным расценкам или в процентах от выручки от реализации продукции (работ, услуг) в соответствии с принятыми на предприятии (организации) формами и системами оплаты труда.

Премии за производственные результаты, надбавки к тарифным ставкам и окладам за профессиональное мастерство и др.

Начисления стимулирующего или компенсирующего характера – надбавки за работу в ночное время, в многосменном режиме, совмещение профессий, работу в выходные и праздничные дни и др.

Надбавки по районным коэффициентам, за работу в районах крайнего Севера и др.

Суммы платежей (взносов) работодателей по договорам обязательного и добровольного страхования.

Заработная плата с учетом надбавок включает в себя:

- оплата по тарифной ставке;
- доплата за классность – 25%;
- премия – 40%;

- ставка северного коэффициента – 50%;
- ставка районного коэффициента – 70% [58].

Расчет заработной платы сведен в таблицу 25.

Таблица 25 – Расчет заработной платы

Должность	Кол-во	Разряд	Часовая тарифная ставка, руб.	Норма времени на проведение мероприятия, ч.	Доплата за классность, %	Заработная плата с учетом надбавок, тыс.руб.
мастер участка	1 чел.	9	80	920	25	314,0
электросварщик	2 чел.	6	88,0	574	25	210,8
газорезчик	2 чел.	5	62,0	574	-	129,8
монтажник	2 чел.	5	50,0	662	25	161,4
монтажник	2 чел.	4	45,0	662	-	120,5
геодезист	1 чел.	4	51,0	84	25	18,3
дефектоскопист	2 чел.	-	55,0	110	-	22,9
Маляр	3 чел.	-	46,0	440	-	81,2
Итого	-	-	-	-	-	1058,8

Отчисления на социальные нужды определяются суммой единого социального налога по установленным законодательством нормам в процентах от расходов на оплату труда (30%). Страховые взносы:  $1058,8 \times 30\% = 317,6$  тыс.руб.

Сумма амортизационных отчислений определяется исходя из балансовой стоимости основных производственных фондов и нематериальных активов, и утвержденных в установленном порядке норм амортизации, учитывая ускоренную амортизацию их активной части [58].

Расчет амортизационных отчислений представлен в таблице 26

Таблица 26 – Расчет амортизационных отчислений

Наименование объекта основных фондов	Кол -во	Балансовая стоимость, руб.		Годовая норма амортизации , %	Сумма амортизации за время эксплуатации , тыс.руб.	Сумма амортизации , тыс.руб.
		одного объект а	всего			
Пост газовой резки	2 шт.	17000	34000	11	3,7	0,393
Выпрямитель сварочный ВДУ-306УЗ	2 шт.	42000	84000	10	8,4	0,882
Лебедка с тяговым усилием 100 кН ЛМЭ - 10-510	1 шт.	870000	174000 0	15	264,1	27,411
Монтажный блок грузоподъемность ю 100 кН	1 шт.	5000	5000	20	1,0	0,105
Шлифмашинка ИЭ- 2031А	2 шт.	2200	4400	20	0,9	0,092
Шаблон сварщика УШС-3	1 шт.	960	960	15	0,1	0,015
Электропечь для прокалки электродов СНО-5,5/5-И 1	1 шт.	112000	112000	18	20,2	2,117
Рулетка металлическая	2 шт.	300	600	12	0,1	0,08
Теодолит 2Т30	1 шт.	37000	37000	21	7,8	0,816

Рулетка металлическая	2 шт.	300	600	12	0,1	0,08
Теодолит 2Т30	1 шт.	37000	37000	21	7,8	0,816
Нивелир Н- ЗКЛУ1	1 шт.	6000	6000	14	0,8	0,088
Рейка нивелирная РН-3-3000	1 шт.	880	880	10	0,1	0,009
Штатив	1 шт.	1800	1800	12	0,2	0,023
Рентген аппарат	1 шт.	425000	425000	15	63,8	6,695
Компрессор с комплект вакуум камер	1 шт.	80000	80000	16	12,8	1,344
Итого	-	-	-	-	380,9	39,999

В состав прочих затрат включаются:

- налоги, сборы, отчисления в социальные внебюджетные фонды в порядке, установленном законодательством (земельный налог, экономические платежи, плата за недра и др.);
- платежи по обязательному и добровольному страхованию имущества, учитываемого в составе ОПФ;
- расходы по обслуживанию объектов жилищной и коммунальной сферы (жилой фонд, общежития, детские сады и лагеря, базы отдыха и др.);
- оплата услуг связи, банков, юридических и аудиторских фирм, сторожевой и пожарной охраны, авиационных услуг и др.;
- плата за аренду помещений (площадей) и основных производственных фондов (лизинг);

- уплата процентов за банковский кредит;
- затраты на гарантийный ремонт и обслуживание;
- командировочные расходы;
- расходы по подготовке и переподготовке кадров и др.

Кроме перечисленных затрат в составе затрат на проведение организационно-технического мероприятия учитываются накладные расходы, связанные с организацией, управлением и обслуживанием производства [58].

На основании вышеперечисленных расчетов затрат определяется общая сумма затрат на проведение организационно-технического мероприятия по форме таблицы 27.

Таблица 27 – Затраты на проведение организационно-технического мероприятия

Состав затрат	Сумма затрат, тыс. руб.	Сумма затрат, %
Материальные затраты	766,7	23
Затраты на оплату труда	1058,8	32
Отчисления на социальные нужды	317,6	10
Амортизационные отчисления	39,9	1
Прочие затраты	160,0	5
Итого основные расходы	2343	
Накладные расходы (40% от основных расходов)	955,0	29
Общие затраты на мероприятие	3298	100

### 5.3 Оценка экономической эффективности мероприятия

Экономический эффект от проведения конкретных мероприятий может быть определен в стоимостном выражении. Сравнив затраты на капитальный ремонт РВС-5000 с затратами на строительство нового РВС-5000 можно определить экономическую эффективность:

$$\mathcal{E} = (C_0 - C_1) = 22000 - 3298 = 18702 \text{ тыс. руб.}$$

где  $C_0$  – затраты на строительство нового резервуара РВС-5000м<sup>3</sup>, составляет порядка 22-26 млн. руб.;

$C_1$  – затраты на капитальный ремонт резервуара РВС-5000м<sup>3</sup>, составляющие 3298 тыс. руб.

Затраты на проведение капитального ремонта РВС-5000м<sup>3</sup> представлены на рисунке 81.

В нашем случае источник эффекта – экономия средств, выраженная как разница между затратами на строительство нового резервуара и затратами на капитальный ремонт РВС, и составляет минимум 18 млн. руб.

По результатам проведенных расчетов затрат, (представленных на диаграмме) выяснилось, что основная доля затрат идет на оплату труда работников и накладные расходы, связанные с организацией, управлением и обслуживанием производства.

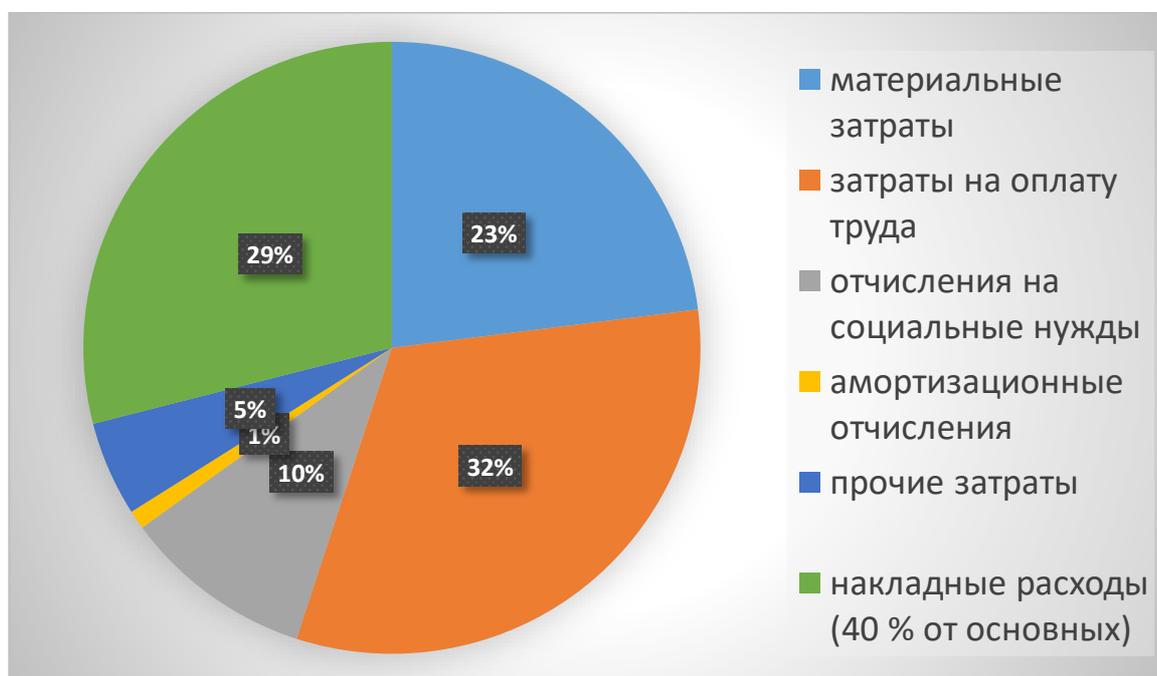


Рисунок 81 – Затраты на проведение капитального ремонта РВС 5000 м<sup>3</sup>

## Заключение

В ходе выполнения данной работы в главе 1 были рассмотрены основные причины возникновения аварий. При исследовании 378 аварий на резервуарах, произошедших в различные годы, была составлена диаграмма основных причин аварий, неравномерная осадка основания в которой занимает 28 %. Были выявлены причины разрушения резервуаров и рассмотрены методы устранения осадок резервуаров в соответствии с нормативной документацией.

В главе 2 на основе аналитического метода определили напряжения и перемещения в стенке резервуара в зависимости от его высоты. Далее было произведено геометрическое моделирование конструкции резервуара в программном обеспечении ANSYS в среде SpaceClaim и выполнен численный расчет РВС. Разница в результатах решения аналитической и численной задачи для перемещений составляет 3,82 %, а для напряжений 3,81 %. Построенную модель далее использовали для исследования влияния неравномерной осадки.

В главе 3 была реализована модель резервуара с неравномерной осадкой путем различных зон вырезки ж/б кольца. Рассмотрели собственную жесткость резервуара. При задании неравномерной осадки исследования показали, что при вырезе кольца в 180° максимальные допустимые перемещения узла сопряжения стенки и днища составили 9 мм при заполненном резервуаре до проектной отметки и 75 %-ном значении напряжения от предела текучести стали 09Г2С в 345 МПа. При уменьшении секторов предельные перемещения уменьшались и при вырезке в 60° составили 2 мм только при рассмотрении пустого резервуара. Было выявлено, что полученные значения не совпадают со значениями,

					Исследование напряженно-деформированного состояния резервуара вертикального стального типа РВС-5000 куб.м при развитии неравномерных осадок его основания					
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						
Разраб.		Асанов А.В.			Заключение					
Руковод.		Шадрина А.В.						Лит.	Лист	Листов
Консульт.									109	124
Рук-ль ООП		Шадрина А.В.						ТПУ, ИШПР Группа 2БМ72		

представленными в нормативной документации, которые варьируются в пределах от 40 до 80 мм. Также рассмотрели работу Чепура П.В. в которой рассматривался РВС-2000 и было тоже несовпадение выявленных предельных перемещений с НТД. Рассмотрели влияние выступа окарьки днища резервуара на его напряженно-деформированное состояние. Максимальные напряжения возникают при отсутствии выступа окрайки и составляют 206 МПа, а минимальные наблюдаются при выступе в 50 мм и составляют 131 МПа. Разница между минимальным и максимальным напряжениями составляет 36 %.

В главе 4 рассмотрели вопросы социальной ответственности при обслуживании резервуаров, а также при выполнении работы по исследованию резервуара в компьютерном классе.

В главе 5 рассчитали стоимость капитального ремонта РВС-5000 при выявлении неравномерной осадки его основания и сравнили ее со стоимостью возведения новой идентичной конструкции.

					Заключение	Лист
						110
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

## Список используемых источников

1. Чепур П.В. Напряженно-деформированное состояние резервуара при развитии неравномерных осадок его основания: дисс. канд. техн. наук: 25.00.19 / Чепур Петр Владимирович. – Москва, 2015. – 181 с
2. Галеев В.Б. Напряженно-деформированное состояние резервуаров, построенных на слабых переувлажненных грунтах: дисс. докт. техн. наук. Тюмень, 1987 г. – 668 с.
3. Тарасенко А.А., Николаев Н.В., Хоперский Г.Г., Саяпин М.В. Напряженнодеформированное состояние стенки резервуара при неравномерных осадках основания // Известия вузов «Нефть и газ». Тюмень, 1997. №3. С. 75-79.
4. Галеев В.Б. Эксплуатация стальных вертикальных резервуаров в сложных условиях. -М.: «Недра», 1981. – 149 с.
5. Любушкин В.В. Исследование осадки основания и напряженного состояния днища стального вертикального резервуара: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Уфа, 1979, – 229 с.
6. Васильев Г.Г., Сальников А.А. Анализ причин аварий вертикальных стальных резервуаров // Нефтяное хозяйство. 2015. № 2. С. 106-108.
7. DeBeer E. E. Foundation Problems, of Petroleum, Tanks. Annales de L'Institut Belge du Petrole. No, 6, 1969. pp. 25-40.
8. Бородавкин П.П., Садырин Ю.К. Ремонт металлических резервуаров /Научно-технический обзор. -М.: ВНИИОЭНГ, 1967. – 76 с.
9. Тарасенко А.А. Напряженно-деформированное состояние крупногабаритных резервуаров при ремонтных работах: дис. канд. техн. наук. – Тюмень, 1991. – 254 с. 62.

					Исследование напряженно-деформированного состояния резервуара вертикального стального типа РВС-5000 куб.м при развитии неравномерных осадок его основания			
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата				
Разраб.		Асанов А.В.			Список используемых источников	Лит.	Лист	Листов
Руковод.		Шадрина А.В.					111	124
Консульт.						ТПУ, ИШПР Группа 2БМ72		
Рук-ль ООП		Шадрина А.В.						

10. Тарасенко А.А. Разработка научных основ методов ремонта вертикальных стальных резервуаров: дис. докт. техн. наук. – Тюмень, 1999. – 299 с. 63.

11. Тарасенко А.А. Решение контактной задачи об упругом взаимодействии подъемного устройства и стенки резервуара // Известия вузов "Нефть и газ". Тюмень, 1998. №6. С. 59-64.

12. Clarke J. S. Recent Tank Bottom and Foundation Problems. Proceedings of American Petroleum Institute. 36th. Midyear Meeting, Division of Refuting, May 1971, p. 1.

13. Penman A. D. M. Soil-Structure Interaction and Deformation Problems with Large Oil Tanks. Proceedings of the International Symposium on SoilStructure Interaction, University of Roorkee, Roorkee, India, Vol. 1, Jan., 1977, pp. 521-526.

14. Sullivan R. A., Nowicki J. F. Differential Settlement of Cylindrical Oil Tanks. Proceedings of Conference on Settlement of Structures, Cambridge University, John Wiley and Sons, Inc., New York, N.Y., Apr., 1974, pp. 420- 424.

15. Большаков Н.В., Гохман А.С. Осадка фундаментов при сооружении объектов нефтегазовой промышленности на слабых грунтах. –М.: ВНИИСТ, 1972, – 69 с.

16. Ямамото С., Кавано К. Напряжения и деформации, образующиеся в цилиндрических резервуарах вследствие неравномерного оседания основания // Перевод с японского языка статьи из журнала «Нихои Кикай Гаккайси», 1977, т.80, №703. С. 534-539 / ВЦП №А-49231. – 18 с.

17. Тарасенко А.А., Попова Е.В. Напряженно-деформированное состояние резервуара при неравномерных осадках основания // Известия вузов «Нефть и газ». Тюмень, 2005. №1. С. 59-63.

18. Большаков Н.В., Гохман А.С. Осадка фундаментов при сооружении объектов нефтегазовой промышленности на слабых грунтах. –М.: ВНИИСТ, 1972, – 69 с.

					Список используемых источников	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		112

19. Буренин В.А. Исследование влияния неравномерных осадок на напряженно-деформированное состояние стального вертикального цилиндрического резервуара. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Уфа, 1980. – 157 с.

20. Кондрашева О.Г. Причинно-следственный анализ аварий вертикальных стальных резервуаров / Кондрашева О.Г., Назарова М.Н. // Нефтегазовое дело. – №2, 2004. – С. 36-43.

21. Галеев В.Б. Проектирование оснований резервуаров на слабых водонасыщенных грунтах / Галеев В.Б. // Нефтепромысловое строительство. – М.: ВНИИОЭНГ, 1976. – С. 13-15.

22. Галеев В.Б. Аварии резервуаров и способы их предупреждения / Галеев В.Б., Гагарин Д.Ю., Фролов Ю.А. – Уфа, 2004. – 164 с.

23. Березин В.Л. Вопросы эксплуатационной надежности резервуаров на нефтеперерабатывающих заводах / Березин В.Л., Мацкин А.А., Гумеров А.Г., Ясин Э.М. – М.: ЦНИИТЭнефтехим, 1971. – 67 с.

24. Березин В.Л. Прочность и устойчивость резервуаров и трубопроводов / Березин В.Л., Шутов В.Е. – М.: Недра, 1973. – 223 с.

25. Беляев Б.И. Причины аварий стальных конструкций и способы их устранения / Беляев Б.И., Корниенко В.С. – М.: Стройиздат, 1968. – 205 с.

26. Иванов Ю.К. Основания и фундаменты резервуаров / Иванов Ю.К., Коновалов П.А., Мангушев Р.А., Сотников С.Н. – М.: «Стройиздат», 1989. – 95 с.

27. Коновалов П.А. Фундаменты стальных резервуаров и деформации их оснований / Коновалов П.А., Мангушев Р.А., Сотников С.Н., Землянский А.А., Тарасенко А.А. – М.: Издательство Ассоциация строительных вузов, 2009. – 336 с.

28. Землянский А.А. Принципы конструирования и экспериментальнотеоретические исследования крупногабаритных резервуаров: дисс. д-ра техн. наук: 05.23.01, 05.23.02 / Землянский Анатолий Андреевич. – Балаково, 2006. – 417 с.

					Список используемых источников	Лист
						113
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

29. Коновалова О.П. Учет консолидации в повышении эксплуатационной надежности стальных резервуаров большой емкости: дисс. канд. техн. наук: 25.00.19 / Коновалова Ольга Павловна. – Тюмень, 2002. – 176 с.

30. Розенштейн И.М. Аварии и надежность стальных резервуаров / Розенштейн И.М. – М.: Недра, 1995 – 253 с.

31. Афонская Г.П. Влияние дефектов на несущую способность резервуаров, эксплуатируемых в условиях Севера: дисс. канд. техн. наук: 01.02.06 / Афонская Галина Петровна. – Якутск, 2000. – 141 с.

32. Ханухов Х.М. Нормативно-техническое и организационное обеспечение безопасной эксплуатации резервуарных конструкций / Ханухов Х.М., Алипов А.В. // Электронный журнал «Предотвращение аварий зданий и сооружений». – 2011.

33. Balaam M.P. Grown settlement analysis of soft clay reinforced with granular piles / Balaam M.P. // Proc. 5-th Southeast Asian Conference On Soil Engineering. – Thailand, 1977. – P. 81-90.

34. Сафарян М.К. Проектирование и сооружение стальных резервуаров / Сафарян М.К., Иванцов О.М. – М.: Гостопттехиздат, 1961. – 328 с.

35. Исима Т. Исследование причин аварий при хранении нефти в резервуарах на предприятиях фирмы «Мицубиси Сэкию» / Исима Т. // Перевод с японского языка из журнала «Добоку Сэко». – 1975. – т. 16, №9.

36. РД-23.020.00-КТН-283-09 «Правила ремонта и реконструкции резервуаров для хранения нефти объемом 1000-50000 куб.м. Том 1».

37. РД-23.020.00-КТН-283-09 «Правила ремонта и реконструкции резервуаров для хранения нефти объемом 1000-50000 куб.м. Том 2».

38. Тимошенко С.П., Войновский-Кригер С. Пластинки и оболочки. - М.: Издательство «Наука», 1966. – 636 с.

39. Бруйка В.А., Фокин В.Г., Солдусова Е.А., Глазунова Н.А., Адеянов И.Е. Инженерный анализ в ANSYS Workbench: Учеб. пособ. СамГТУ, 2010. – 271 с.

					Список используемых источников	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		114

40. Коновалов П.А., Мангушев Р.А. Сотников С.Н., Землянский А.А., Тарасенко А.А. Фундаменты стальных резервуаров и деформации их оснований. –М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2009. – 336с.

41. ГОСТ 31385-2016 «Резервуары вертикальные цилиндрические стальные для нефти и нефтепродуктов. Общие технические условия»

42. Тарасенко А.А., Николаев Н.В., Хоперский Г.Г., Овчар З.Н., Саяпин М.В. Исследование влияния приемораздаточных патрубков на напряженно-деформированное состояние стенки вертикальных цилиндрических резервуаров // Известия вузов "Нефть и газ". Тюмень, 1998. №1. С. 59-68.

43. Типовая инструкция ТОИ Р-45-084-01.

44. СанПиН 2.2.2. / 2.4. 1340-03 (далее – СанПиН).

45. ГОСТ 12.0.002-2014 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Термины и определения.

46. ГОСТ 12.1.005-88 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.

47. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила промышленной безопасности опасных производственных объектов, на которых используется оборудование, работающее под избыточным давлением» (с изменениями на 12 декабря 2017 года).

48. СНиП 21-01-97\* «Пожарная безопасность зданий и сооружений».

49. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 "Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы" (с изменениями на 21 июня 2016 года).

50. СН 2.2.4/2.1.8.562-96 Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки. Санитарные нормы.

					Список используемых источников	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		115

51. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200–03 «Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и иных объектов».

52. СанПиН 2.1.6.1032-01 «Гигиенические требования к обеспечению качества атмосферного воздуха населенных мест».

53. ГОСТ 17.1.3.13-86 Охрана природы. Гидросфера. Общие требования к охране поверхностных вод от загрязнения.

54. ГОСТ Р 22.0.02-2016 «Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Термины и определения».

55. РД 153-39.4-078-01 «Правила технической эксплуатации резервуаров магистральных нефтепроводов и нефтебаз».

56. РД 13.020.00-КТН-020-14 «Магистральный трубопроводный транспорт нефти и нефтепродуктов. Ликвидация аварий и инцидентов. Организация и проведение работ».

57. Федеральный закон от 22.07.2013 г. №123 – ФЗ, Технический регламент о требованиях пожарной безопасности.

58. Забродин Ю.Н., Коликов В.Л., Саруханов А.М. Управление нефтегазостроительными проектами: современные концепции, эффективные методы и международный опыт / Ю.Н. Забродин, В.Л. Коликов, А.М. Саруханов. – М.: ЗАО «Издательство «Экономика», 2004. -406 с.

59. Герчикова И.Н. Менеджмент: Учебник для вузов. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: ЮНИТИ, 2006. – 511 с.

					Список используемых источников	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		116

**Приложение А**  
(справочное)

**Study of the causes of uneven sediment reservoirs and methods of their  
elimination**

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2БМ72	Асанов А.В.		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Руководитель ООП ОНД ИШПР	Шадрина А.В.	д.т.н., доцент		

Консультант-лингвист отделения иностранных языков ШБИП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ст. преподаватель	Новикова В.С.			

					Исследование напряженно-деформированного состояния резервуара вертикального стального типа РВС-5000 куб.м при развитии неравномерных осадок его основания			
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата				
Разраб.		Асанов А.В.			<b>Приложение А</b>	Лит.	Лист	Листов
Руковод.		Шадрина А.В.					117	124
Консульт.		Новикова В.С.				<b>ТПУ, ИШПР Группа 2БМ72</b>		
Рук-ль ООП		Шадрина А.В.						

## Study of the causes of uneven sediment reservoirs and methods of their elimination

In connection with the expansion of the geography of development of new fields, and, consequently, the increase in pipeline transportation of oil, there was a need for the construction of a large number of vertical steel tanks. The problem of uneven sediment of the bases of the tanks arises from the fact that Western Siberia, in which a large number of oil transportation system facilities are located, belongs to the territories where weak waterlogged soils lie.

Many years of experience in the operation of vertical steel tanks shows that the uneven sediment of the RVS between its Central part of the bottom and the wall occurs due to different specific pressure on the ground from the mass of the wall itself and the hydrostatic load, almost immediately after the hydraulic tests. Under the Central part of the bottom pressure is in the range of 0,16-0,2 MPa, and under the wall it is much higher, and is 0,9-1,5 MPa. Known are cases when the exploitation of reservoirs the difference between precipitation of the bottom and its Central portion has reached 0,6-0,8 m.

The sediment of the VST bases, which occurs due to deformation of the soils, is an inevitable factor in the operation of these structures, it occurs as a result of compression of the hydrophobic layer under load, which is determined by the mass of the liquid stored in the tank, as well as the mass of the tank itself.

Defects in the performance of construction and installation works and errors in the design of the Foundation of the tank base are a frequent manifestation of uneven and local subsidence along the perimeter of the bottom of the tank.

Additional deformation in the structural elements of the tank, especially observed in utarna seam, caused by the additional stresses in nonuniform sediments. The combination of additional stresses with operational often lead to depressurization of the tank (destruction of the wormhole seam, rupture of the bottom panels). In cases of significant deformation of the tank wall defects in the area of the junction of the fixed roof to the wall and to the support ring, which is attached to the tank wall, are not excluded.

					<i>Приложение А</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		118

In the world practice on the use of vertical steel tanks accidents mainly occur due to a set of reasons, one of which is uneven sediment of individual segments of the base.

Both during the operation of the VST, and during hydraulic tests, after its construction or overhaul, there is a sediment of the natural base of the soil cushion and the hydrophobic layer, which is located under the bottom of the tank.

Total differential settlement of the Foundation varies by area and the perimeter of the tank. It depends on many factors, such as the different degree of compaction of the artificial base, uneven loads on the middle part and around the perimeter, the heterogeneity of the soil distributed over the area of the base.

The normative and technical documentation in the field of vertical steel tanks provides for hydraulic tests to identify defects in the structure, to determine the tightness, as well as to assess changes in the geometry of the base before and after its tests.

Works by such authors as V. V. Lyubushkin, Burenin V. A., De beer is devoted to the analysis of drawdown grounds of tanks in the process of conducting hydraulic testing, and about the research of drawdown of the reservoir during the operation wrote Borodavkin p. P., Galeev, V. B., Tarasenko A. A., Clark, Penman, Sullivan and other authors. These studies describe the results of natural observations of the subsidence of tanks, installation of which was carried out in different soil and climatic conditions, and also proposes the use of terminology to identify certain types of sediment.

Borodavkin P. P proposes to separate the diametrical, peripheral and sediment in the form of collapse, about the same classification of sediment offered Galeev V. B. and Clark.

In the work of Bolshakov N. In. for different volumes of tanks, statistical data on the amount of drawdown are given, but it does not determine the explicit boundaries of uneven precipitation. Cavanaugh K. in proposes the following classification of nonuniform precipitates:

- around the perimeter of the tank;

					<i>Приложение А</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		119

- in the radial direction, which has a bowl-like character and causes bending stresses on the bottom section (near the edge) and in the places of welding of the bottom sheets together;

- local (depressions and bulges), located on the bottom area.

All given classifications of uneven sediment bases can be considered incomplete, since they do not cover all the existing cases encountered in the practice of operation of tanks, so we will consider a detailed classification.

The drawdown of the natural base of the tanks during the period of hydraulic testing or during operation is due to deformation of soils that are under the action of test or operational loads. Sediment tanks, built on the basis of different conditions, in the process of numerous observations and various studies suggest to be divided into uneven and uniform. Uniform sediment is divided by area or perimeter, uneven as divided by area and the contour of the tank, as it includes local subsidence of the bottom; roll; sediment, called "step"; diametrical sediment and sediment is the collapse of the base diameter of the VST.

If there is the same displacement of all points of the bottom area and the wall of the tank in the vertical plane by a conditional value  $u$ , then this sediment refers to a uniform area of the base. This type of sediment is typical for tanks of large volumes having a base in the form of a reinforced concrete Foundation ring. This example of uniform precipitation over the area of the base occurs in most cases after construction, during hydraulic tests, as well as in the case of changes in hydrogeological conditions during operation. Due to the fact that with a uniform sediment on the base area there is a deformation of a large soil mass that exceeds the diameter of the tank, it is impossible to correct it. In this case, non-axisymmetric components of the load almost does not occur, but in such structures, where if compensators are not provided, this type can create additional stresses in the nodes of the interfaces of the transceiver devices and the tank wall.

Large-sized tanks, the base of which is composed of water-saturated soils, are subject to uniform around the perimeter of the sediment.

This type of sediment occurs due to the processes of compaction and consolidation of the soil mass during hydraulic tests, as well as in the initial period of operation. In this case, risk-prone nodes mates devices and fasteners shaft ladder having a private Foundation, with the wall of the tank.

The sediment of the tank, under the influence of which the entire structure along the outer contour and the area is subject to a slope in one direction is called a roll. The value of the roll is characterized either by the angle of rotation of the plane of the bottom of the tank relative to the horizon, or by the difference in elevation of diametrically opposite points of the bottom edge.

In areas with a predominance of frozen soils or low-quality pile Foundation occurs uneven sediment on the area of the tank. In the process of draining and filling operations, with the bearing capacity of the piles less than the calculated ones, their movements along their own axes occur.

This leads to the fact that the pile head moves and shifts the Foundation plates based on it, resulting in unacceptable deformation and destruction of welded joints of the bottom sheets. To prevent these movements in the process of performing flaw detection, it is necessary to use a full leveling of the bottom of the tank to find subsidence. Repair of uneven sediment on the area of the tank is made by replacing the subsidence parts of the bottom and restoring the bearing capacity of the base (usually the method of electrochemical fixing of the soil).

Diametrical types of sediment and precipitation in the form of the collapse of the base in practice are quite rare, they mainly occur due to errors in the design and survey work, as well as with insufficient quality construction. The collapse occurs in two directions: in the periphery with the collapse zone in diameter or in a line close to it. In this case, there are significant overvoltages in the wall and the connecting nodes of the suture and the upper junction of the roof, the wall and the support ring along the collapse line.

Practice shows that in Western Siberia the most common uneven sediment along the contour of the tank. This type of sediment base due to the large amount of subsidence under the tank wall, rather than under the main part of the bottom.

					<i>Приложение А</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		121

The reason for the formation of this type of sediment is the difference in loads that are transmitted by the tank over the area of the Central part of the bottom and along the outer contour. The load on the base area consists of the product stored in the tank and for the VST-5000 is 90-110 kPa. The load on the base under the outer contour of the bottom is determined from the mass of the wall, roof and stationary equipment of the tank, the specific load is approximately 130-140 kPa. The difference between the mechanisms of pressure transfer to the base from the base ring and the Central part of the bottom is also an important factor.

In our case, the tank has a ring reinforced concrete Foundation, which will be considered as an absolutely rigid non-deformable body. W/b Foundation evenly transmits pressure on the ground mass of the weight of the liquid in the tank and the mass of the tank.

The Central part of the bottom is a thin-walled metal membrane, which is able to take elastic deformation along the axis of the cylindrical shell of the tank. This consists of various drawdowns of the base of the outer contour of the bottom and its Central part.

As practice shows, the operation of vertical steel tanks usually precipitation occurs in different combinations, but any subsidence of the base can be defined as the sum of the roll, uneven and uniform precipitation. Therefore, to study the stress-strain state of PBC in the process of subsidence, it is necessary to consider the method of decomposition of precipitation into elementary constituent elements. Classification of non-uniform precipitates, which is based on the analysis of Fourier series harmonics, is presented in:

- uniform draft (zero-order draft);
- roll (first order draft);
- non-uniform sediment (the sediment of the second order);
- total sediment (the sediment of the third and higher orders).

Currently, the oil industry is developing all over the world, as a result of this, the number of newly built tanks is growing, but despite this, there is little information about accidents in tank farms or separate tanks. This is due to the fact that the construction of tanks is carried out according to strictly regulated construction norms and rules, as well as their acceptance into operation, as well as the reluctance of small private companies engaged in oil production to advertise the consequences of their accidents, as it will affect the reputation of the company.

Destruction of tank farms and stand-alone tanks in most cases leads to significant material, environmental and social consequences. The result of the accident is partial or complete destruction of the emergency tank, and in larger cases, and other tanks, buildings and structures that were close to the emergency. In the event of an accident, the atmosphere, soil layers, water bodies are polluted and often there is injury to the working personnel serving the hazardous production facility. Material damage caused by accidents in tank farms, 500 or more times higher than the basic cost of their construction.

To prevent accidents, it is necessary to improve the reliability and safety of operation of tanks, which is currently an urgent task. To solve this problem, it is necessary to timely and accurately determine the technical condition of the object in the aftermath with conclusions about its further operation or removal for repair. Currently, one of the main indicators of the technical condition of vertical steel tanks is the assessment of their stress-strain state, which is produced in software systems mainly using the finite element method.

Next, we analyze the causes of accidents of tanks and determine the factors that have a major impact on the formation of stress-strain state.

As a result of the analysis of statistical data on the possible causes of tank accidents can be identified several main:

- uneven sediment of the tank base;
- non-compliance with technologies in the manufacture and installation of VST structures;

- the failure of PPB in the process of maintenance and when performing repair work;
- brittle fracture reservoirs;
- non-observance of technologies when carrying out hydro/pneumatic tests;
- metal corrosion.

Such foreign companies as Chevron, British Petroleum, ExxonMobil distinguish uneven sediment as one of the main causes of accidents and destruction of tanks.

					<i>Приложение А</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		124