

Школа: Инженерная школа природных ресурсов

Направление подготовки (специальность): 21.03.01 Нефтегазовое дело

Профиль: Эксплуатация и обслуживание объектов транспорта и хранения нефти, газа и продуктов переработки

Отделение школы (НОЦ): Отделение нефтегазового дела

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Анализ влияния дефектов геометрии стенки РВС на его напряженно-деформированное состояние при эксплуатации

УДК 622.692.23-025.71-034.14:620.19

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2Б7Б	Калинин Алексей Александрович		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОНД ИШПР	Валитова Е.Ю.	к.п.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Клемашева Е.И.	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель ООД	Фех А.И.			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОНД ИШПР	Брусник О.В.	к.п.н.		

Запланированные результаты обучения по ООП

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС ВО, СУОС, критериев АИОР, и/или заинтересованных сторон
P1	Применять базовые естественнонаучные, социально-экономические, правовые и специальные знания в области нефтегазового дела, самостоятельно учиться и непрерывно повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности	Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (УК(У)-1, УК(У)-2, УК(У)-3, УК(У)-6, УК(У)-7, ОПК(У)-1,ОПК(У)-2)
P2	Решать профессиональные инженерные задачи на основе информационной и библиографической культуры с применением информационно-коммуникационных технологий и с учетом основных требований информационной безопасности	Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (УК(У)-4, УК(У)-5, УК(У)-8, ОПК(У)-5, ОПК(У)-6)
P3	Осуществлять и корректировать технологические процессы при эксплуатации и обслуживании оборудования нефтегазовых объектов	Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (ПК(У)-1, ПК(У)-2, ПК(У)-3, ПК(У)-6, ПК(У)-7,ПК(У)-8, ПК(У)-10, ПК(У)-11)
P4	Выполнять работы по контролю промышленной безопасности при проведении технологических процессов нефтегазового производства и применять принципы рационального использования природных ресурсов а также защиты окружающей среды в нефтегазовом производстве	Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (ПК(У)-4, ПК(У)-5, ПК(У)-9, ПК(У)-12, ПК(У)-13, ПК(У)-14, ПК(У)-15)
P5	Получать, систематизировать необходимые данные и проводить эксперименты с использованием современных методов моделирования и компьютерных технологий для решения расчетно-аналитических задач в области нефтегазового дела	Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (ОПК(У)-4, ПК(У)-23, ПК(У)-24)

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС ВО, СУОС, критериев АИОР, и/или заинтересованных сторон
Р6	Использовать стандартные программные средства для составления проектной и рабочей и технологической документации в области нефтегазового дела	Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (УК(У)-2, ОПК(У)-3, ОПК(У)-5, ОПК(У)-6, ПК(У)-25, ПК(У)-26)
Р7	Применять диагностическое оборудование для проведения технического диагностирования объектов ЛЧМГ и ЛЧМН	Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (ОПК(У)-4, ОПК(У)-5, ПК(У)-9, ПК(У)-14), требования профессионального стандарта 19.016 "Специалист по диагностике линейной части магистральных газопроводов"
Р8	Выявлять неисправности трубопроводной арматуры, камер пуска и приема внутритрубных устройств, другого оборудования, установленного на ЛЧМГ и ЛЧМН	Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (ОПК(У)-5, ОПК(У)-6, ПК(У)-9, ПК(У)-11), требования профессионального стандарта 19.010 "Специалист по транспортировке по трубопроводам газа"
Р9	Владеть методами и средствами для выполнения работ по техническому обслуживанию, ремонту, диагностическому обследованию оборудования, установок и систем НППС	Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (ОПК(У)-6, ОПК(У)-7, ПК(У)-4, ПК(У)-7, ПК(У)-13), требования профессионального стандарта 19.055 "Специалист по эксплуатации нефтепродуктоперекачивающей станции магистрального трубопровода нефти и нефтепродуктов "

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

Школа: Инженерная школа природных ресурсов
 Направление подготовки (специальность): 21.03.01 Нефтегазовое дело
 Профиль: Эксплуатация и обслуживание объектов транспорта и хранения нефти, газа и продуктов переработки
 Уровень образования: высшее
 Отделение школы (НОЦ): Отделение нефтегазового дела
 Период выполнения: весенний семестр 2020 /2021 учебного года
 Форма представления работы:

Бакалаврская работа

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

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:	15.06.2021
--	------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
25.02.2021	Аннотация и введение	10
25.03.2021	Обзор литературы	10
15.04.2021	Исследование методик определения фактической геометрии резервуаров и проведения анализа его напряженно-деформированного состояния	15
15.05.2021	Построение твердотельной модели резервуара объемом 10000 м ³ с дефектом геометрии стенки и проведение на ее основе инженерного анализа методом конечных элементов, с целью определения пригодности к дальнейшей безопасной эксплуатации	25
20.05.2021	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	10
25.05.2021	Социальная ответственность	10
31.05.2021	Заключение	10
15.06.2021	Презентация	10
	Итого	100

СОСТАВИЛ:

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОНД ИШПР	Валитова Е.Ю.	к.п.н.		

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОНД ИШПР	Брусник О.В.	к.п.н.		

Школа: Инженерная школа природных ресурсов
 Направление подготовки (специальность): 21.03.01 Нефтегазовое дело
 Профиль: Эксплуатация и обслуживание объектов транспорта и хранения нефти, газа и продуктов переработки
 Отделение школы (НОЦ): Отделение нефтегазового дела

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

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврской работы

Студенту:

Группа	ФИО
2Б7Б	Калинину Алексею Александровичу

Тема работы:

Анализ влияния дефектов геометрии стенки РВС на его напряженно-деформированное состояние при эксплуатации	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	№36-79/с от 05.02.2021

Срок сдачи студентом выполненной работы:	15.06.2021
--	------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Объектом исследования в работе является резервуар вертикальный стальной объемом 10000 м ³ с дефектом геометрии стенки. Материал изделия – сталь О9Г2С. Продукт хранения – нефть. Исследуемый объект относится к технологическому сооружению повышенной опасности.
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	Выполнить обзор отечественной и зарубежной литературы, провести анализ и выявить наиболее эффективную комбинацию методик определения фактической геометрии резервуара и проведения анализа его напряженно-деформированного состояния. С помощью программных обеспечений SolidWorks и ANSYS построить и верифицировать полученную модель РВС-10000.

	Получить действующие напряжения и перемещения в конструкции резервуара при воздействии эксплуатационных нагрузок. Исследовать влияние возникновения дефекта геометрии стенки на изменение напряженно-деформированного состояния всей конструкции резервуара.
Перечень графического материала	Рисунки, таблицы, диаграммы, 3D-модель резервуара 10000 м ³
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
«Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	Доцент, к.э.н. Клемашева Елена Игоревна
«Социальная ответственность»	Старший преподаватель, Фех Алина Ильдаровна

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	01.02.2021
---	------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОНД ИШПР	Валитова Елена Юрьевна	к.п.н.		01.02.2021

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2Б7Б	Калинин Алексей Александрович		01.02.2021

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

Студенту:

Группа	ФИО
2Б7Б	Калинину Алексею Александровичу

Школа	ИШПР	Отделение школы (НОЦ)	Отделение нефтегазового дела
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	21.03.01 «Нефтегазовое дело» профиль «Эксплуатация и обслуживание объектов транспорта и хранения нефти, газа и продуктов переработки»

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Оклад руководителя – 23264 руб. Оклад инженера – 14584 руб. Материальные затраты – 1410 руб.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	Накладные расходы 14% Районный коэффициент 30% Норма амортизации 33,3%
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды 30,2%

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	Анализ конкурентных технических решений, SWOT-анализ
2. Планирование и формирование бюджета научных исследований	Планирование работ; Разработка диаграммы Ганта; Формирование бюджета затрат на научно – исследовательскую работу.
3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	Описание потенциального эффекта

Перечень графического материала

1. Оценка конкурентоспособности технических решений
2. Матрица SWOT
3. Альтернативы проведения НИ
4. График проведения и бюджет НИ
5. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИ

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	01.02.2021
---	------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент ОСГН ШБИП	Клемашева Елена Игоревна	к.э.н.		01.02.2021

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2Б7Б	Калинин Алексей Александрович		01.02.2021

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
2Б7Б	Калинину Алексею Александровичу

Школа	ИШПР	Отделение (НОЦ)	Отделение нефтегазового дела
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	21.03.01 «Нефтегазовое дело» профиль «Эксплуатация и обслуживание объектов транспорта и хранения нефти, газа и продуктов переработки»

Тема ВКР:

Анализ влияния дефектов геометрии стенки РВС на его напряженно-деформированное состояние при эксплуатации

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

<p>1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения</p>	<p>Объектом исследования является вертикальный стальной резервуар для хранения нефти и нефтепродуктов, подверженный влиянию дефектов геометрии стенки.</p> <p>В процессе эксплуатации РВС вероятны негативные воздействия на обслуживающий персонал и окружающую среду.</p> <p>Возможно возникновение чрезвычайных ситуаций техногенного, стихийного, экологического и социального характера.</p> <p>Область применения нефтегазовая отрасль.</p>
---	---

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<p>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. 	<ul style="list-style-type: none"> – Федеральный закон «О промышленной безопасности опасных производственных объектов 116-ФЗ от 21.07.1997 г. с изменениями от 8.12.2020 г.»; – ГОСТ 12.2.049-80 ССБТ «Оборудование производственное. Общие эргономические требования»; – ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ. «Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования»; – Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 №197-ФЗ (ред. от 30.04.2021) // Собрание законодательства РФ. – Глава 34, ст. 212. Обязанности работодателя по обеспечению безопасных условий и охраны труда.
--	---

<p>2. Производственная безопасность: 2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия</p>	<p>Вредные факторы:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Превышение уровня шума; – Отклонение параметров микроклимата на открытом воздухе; – Повышенный уровень вибрации; – Недостаточная освещенность рабочего пространства; – Загазованность рабочего места. <p>Опасные факторы:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Пожароопасность; – Опасность механических повреждений от движущихся машин и механизмов производственного оборудования, а также оборудования, работающего под давлением; – Взрывоопасность.
<p>3. Экологическая безопасность:</p>	<p>Охрана окружающей среды:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Анализ воздействия объекта на атмосферу (загрязнение атмосферного воздуха); – Анализ воздействия объекта на гидросферу (промышленные стоки и прорывы резервуаров в сточные воды); – Анализ воздействия объекта на литосферу (разлитие нефтепродуктов).
<p>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</p>	<ul style="list-style-type: none"> – В процессе эксплуатации резервуара возможны ЧС по причинам возгорания резервуара или его разгерметизации при воздействии геологических или человеческих факторов.

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	01.02.2021
--	------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Фех Алина Ильдаровна			01.02.2021

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2Б7Б	Калинин Алексей Александрович		01.02.2021

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа состоит из 96 страниц, 19 рисунков, 22 таблицы, 33 источника.

Ключевые слова: резервуар вертикальный стальной, напряженно-деформированное состояние, конечно-элементная модель, допускаемое напряжение, наземное лазерное сканирование, дефект стенки резервуара.

Объектом исследования является резервуар вертикальный стальной с дефектом геометрии стенки объемом 10000 м³.

Цель работы: проработка рекомендаций о дальнейшей эксплуатации резервуара с дефектом вмятины на стенке, путем анализа изменения НДС.

Методы и методики проведения работ: Твердотельное моделирование резервуара на основании имеющихся размеров и параметров в программном обеспечении SolidWorks. Подготовка конечно-элементных моделей с вмятиной и без нее и анализ их реакции на заданные эксплуатационные усилия при статическом нагружении в системе ANSYS.

В процессе исследования проводилось изучение литературы с целью определения наиболее эффективной комбинации методов получения достоверных геометрических данных резервуара и методов дальнейшей оценки механической надежности заданной геометрии резервуара.

В результате исследования: была определена наиболее точная и достоверная комбинация методов – трехмерное наземное лазерное сканирование и оценка напряженно-деформированного состояния методом конечных элементов. Методом сравнительного анализа эквивалентных напряжений по Мизесу и значения интенсивности напряжений, полученного при аналитическом прочностном расчете нижнего пояса РВС заданных характеристик доказана достоверность рассматриваемого метода.

Область применения: участки подготовки нефти.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			
					Анализ влияния дефектов геометрии стенки РВС на его напряженно-деформированное состояние при эксплуатации		
Разраб.		Калинин А.А.					
Руковод.		Валитова Е.Ю.					
Консульт.							
Рук-ль ООП		Брусник О.В.					
Реферат					Лит.	Лист	Листов
						10	96
					Отделение нефтегазового дела Группа 2Б7Б		

ОПРЕДЕЛЕНИЯ, ОБОЗНАЧЕНИЯ, СОКРАЩЕНИЯ, НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ

ГОСТ 31385-2016	Резервуары вертикальные цилиндрические стальные для нефти и нефтепродуктов. Общие технические условия (с Поправками).
ГОСТ 19281-2014	Прокат повышенной прочности. Общие технические условия.
ГОСТ 12.2.049-80	Система стандартов безопасности труда. Оборудование производственное. Общие эргономические требования.
ГОСТ 12.1.010-76 ССБТ	Взрывобезопасность. Общие требования. (С изменением № 1).
СНиП 23-05-95*	Естественное и искусственное освещение.
ГОСТ 12.3.002-2014 ССБТ	Система стандартов безопасности труда. Процессы производственные. Общие требования безопасности.
ГОСТ 26568-85	Вибрация. Методы и средства защиты. Классификация.
ГОСТ 12.0.003-2015 ССБТ	Система стандартов по безопасности труда. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.
СП 16.13330.2017	Стальные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-23-81*» (с поправкой, с изменениями N 1, 2).
ГОСТ 12.1.003-2014	Система стандартов безопасности труда. Шум. Общие требования безопасности.
ГОСТ Р 22.0.01-2016	Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Основные положения.
СП 20.13330.2016	Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85* (с Изменениями N 1, 2).
РД-23.020.00-КТН-283-09	Правила ремонта и реконструкции резервуаров для хранения нефти объемом 1000-50000 куб.м. Том 1.
Федеральный закон от 21.07.97 №116-ФЗ	Федеральный закон от 21 июля 1997 г. N 116-ФЗ "О промышленной безопасности опасных производственных объектов" (с изменениями и дополнениями).

					Анализ влияния дефектов геометрии стенки РВС на его напряженно-деформированное состояние при эксплуатации		
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			
Разраб.		Калинин А.А.			Лит.	Лист	Листов
Руковод.		Валитова Е.Ю.				11	96
Консульт.					Отделение нефтегазового дела Группа 2Б7Б		
Рук-ль ООП		Брусник О.В.					

Определения, обозначения,
сокращения, нормативные
ссылки

Резервуар: Наземное строительное сооружение, предназначенное для приема, хранения, измерения объема и выдачи жидкости;

Вмятина (выпучина): Локальная деформация поверхности конструкции резервуара;

Тип конечного элемента (КЭ): Совокупность свойств элемента, определяющих: возможность его применения для выполнения определенных видов расчета КЭ, характерную форму элемента, порядок аппроксимирующей функции, геометрические характеристики;

Напряженно-деформированное состояние: совокупность напряжений и деформаций, возникающих при действии на материальное тело внешних нагрузок, температурных полей и других факторов;

Нагрузки: внешние механические силы (вес конструкций, оборудования, снега, людей и т.п.), действующие на строительные объекты.

РВС – резервуар вертикальный стальной;

НДС – напряженно-деформированное состояние;

МКЭ – метод конечных элементов;

НЛС – наземное лазерное сканирование;

ГОСТ – государственный стандарт.

R_i – допускаемое напряжение, МПа;

γ_c – коэффициент условий работы;

γ_m – коэффициент надежности по материалу;

γ_n – коэффициент надежности по ответственности;

σ_i – интенсивность напряжений, МПа;

σ_k – кольцевое напряжение, МПа;

σ_m – меридиональное напряжение, МПа;

$H_{взл}$ – высота налива, м;

ψ_1, ψ_2 – коэффициенты сочетаний нагрузок.

					Определения, обозначения, сокращения, нормативные ссылки	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		12

Оглавление

Введение	15
Литературный обзор.....	18
1 Изучение вопросов напряженно-деформированного состояния резервуара с дефектами геометрии	23
1.1 Дефекты геометрии стенки резервуара	23
1.2 Методики измерения и обработки данных	25
1.2.1 Традиционные методы определения геометрической формы стенки резервуара, находящегося в эксплуатации	26
1.2.2 Определение геометрической формы стенки резервуара методом наземного лазерного сканирования.....	27
1.3 Инженерный анализ методом конечных элементов (МКЭ).....	29
1.4 Использование метода конечных элементов при анализе напряженно-деформированного состояния РВС	32
2 Расчёт напряженно-деформированного состояния резервуара. Конечно-элементная модель РВС-10000 с дефектом геометрии стенки.....	35
2.1 Описание исследуемого резервуара	35
2.2 Структура выполнения анализа	37
2.3 Определение допускаемых напряжений	38
2.4 Нагрузки и воздействия	39
2.5 Построение геометрической модели резервуара.....	40
2.5.1 Построение твердотельной модели РВС-10000 в SolidWorks	40
2.5.2 Перенос твердотельной модели в ANSYS	43
2.5.3 Оптимизация структуры геометрической модели РВС-10000	44
2.5.4 Построение геометрии вмятины на стенке РВС.....	45
2.6 Построение конечно-элементной сетки	46
2.7 Нагружение и закрепление конструкции резервуара	49
2.8 Результаты конечно-элементного анализа.....	52
2.9 Аналитических расчет на прочность пояса стенки резервуара	56

					Анализ влияния дефектов геометрии стенки РВС на его напряженно-деформированное состояние при эксплуатации		
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			
Разраб.		Калинин А.А.			Лит.	Лист	Листов
Руковод.		Валитова Е.Ю.				13	96
Консульт.					Отделение нефтегазового дела Группа 2Б7Б		
Рук-ль ООП		Брусник О.В.					
					Оглавление		

3	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	60
3.1.	Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.....	61
3.1.1	Потенциальные потребители результатов исследования.....	61
3.1.2	Анализ конкурентных решений.....	61
3.1.3	SWOT-анализ.....	63
3.2	Планирование научно-исследовательских работ.....	67
3.2.1	Структура работ в рамках научного исследования.....	67
3.2.2	Определение трудоемкости выполнения работ.....	67
3.2.3	Разработка графика проведения научного исследования.....	68
3.3	Бюджет научно-технического исследования.....	70
3.3.1	Расчёт материальных затрат.....	71
3.3.2	Расчёт амортизационных отчислений.....	72
3.3.3	Заработная плата исполнителей.....	72
3.3.4	Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления).....	74
3.3.5	Накладные расходы.....	74
3.4	Определение ресурсной, финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.....	75
3.4.1	Определение ресурсоэффективности проекта.....	75
4	Социальная ответственность.....	78
4.1	Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности... ..	78
4.2	Производственная безопасность.....	80
4.3	Экологическая безопасность.....	86
4.4	Защита в чрезвычайных ситуациях.....	88
	Заключение.....	91
	Список использованных источников.....	93

Введение

В технологических схемах работы участков подготовки нефти для приёма и хранения жидких продуктов активно применяются вертикальные цилиндрические стальные резервуары, отличающиеся повышенной простотой монтажа. Постоянный рост числа резервуарных парков, выработавших установленный срок эксплуатации и являющихся морально и технически устаревшими, неизбежно приводит к отказам оборудования и авариям на нефтегазовых объектах, в том числе наносит непоправимый вред экологии и жизни людей. Положение еще более усугубляется в случае образования на поверхности резервуаров различного рода дефектов. В качестве примера, можно привести чрезвычайную ситуацию федерального масштаба в городе Норильске, произошедшую в 2020 году. В результате разгерметизации резервуара вертикального стального объемом 30000 м³ более 20000 тонн нефтепродуктов попали в почву и воду, превысив норму концентрации вредных веществ в десятки тысяч раз. Причиной разгерметизации, послужили трещины, образовавшиеся в результате просадки грунта. Позднее было отмечено, что катастрофы в Норильске можно было избежать, если бы была задействована система мониторинга, способная спрогнозировать изменения грунта при статических и динамических нагрузках на резервуар и его основание.

					Анализ влияния дефектов геометрии стенки РВС на его напряженно-деформированное состояние при эксплуатации			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				
<i>Разраб.</i>		Калинин А.А.			Введение	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Руковод.</i>		Валитова Е.Ю.					15	96
<i>Консульт.</i>						Отделение нефтегазового дела Группа 2Б7Б		
<i>Рук-ль ООП</i>		Брусник О.В.						

Технические решения при проектировании и возведении резервуара должны обеспечивать нормативный срок эксплуатации продолжительностью до 50 лет, и интервал между проведением ремонтных работ - 10 лет, однако уже в процессе монтажа, в результате ошибок сборки могут закладываться дефекты, нарушающие геометрическую форму резервуара, тем самым образуя концентраторы напряжений. Также подобные дефекты возникают и в процессе эксплуатации, в процессе наполнения и опорожнения объекта.

Для обоснования возможности дальнейшей безопасной эксплуатации, предотвращения преждевременного выведения резервуара в ремонт и затрат на его выполнение, необходимо исследовать поведение конструкции его стенки под действием эксплуатационных нагрузок, с учетом образовавшихся в процессе монтажа или эксплуатации дефектов, способствующих понижению эксплуатационной надежности. Анализ напряженно-деформированного состояния является ключевым фактором при определении технического состояния РВС, а исследование его изменения является актуальной задачей, так как от исправного и безаварийного функционирования резервуаров во многом зависят жизни обслуживающего персонала, окружающая среда и бесперебойная поставка нефтепродуктов во всем миру.

Объект исследования: резервуар вертикальный стальной РВС-10000 с вмятиной в стенке.

Целью работы является анализ влияния дефекта (вмятины) стенки на напряженно-деформированное состояние резервуара методом конечных элементов, для принятия решения о его дальнейшей эксплуатации или выводе в ремонт.

					Введение	<i>Лист</i>
						16
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

Для достижения указанной цели сформулированы следующие задачи исследования:

1. Провести обзор литературных источников о видах встречающихся дефектов стенки резервуара, используемых методах получения данных о фактической геометрии конструкций и методах оценки их механической надежности, в том числе – изучение структуры проведения инженерного анализа методом конечных элементов;

2. Построить параметрическую твердотельную модель резервуара с возможностью включения/отключения геометрии дефекта стенки по заданным исходным данным при помощи систем автоматизированного проектирования;

3. Построить конечно-элементную модель резервуара на основе твердотельной модели и произвести анализ напряженно-деформированного состояния, подтвердить достоверность его результатов сравнением с аналитическим прочностным расчетом нижнего пояса РВС;

4. Проанализировать влияние наличия вмятины в стенке на НДС резервуара;

5. Изучить вопросы социальной ответственности при обслуживании и диагностике резервуара в резервуарном парке;

6. Оценить ресурсную эффективность численного расчета надежности резервуара методом наземного лазерного сканирования и обработки полученных данных в программном обеспечении ANSYS.

Литературный обзор

В процессе эксплуатации цилиндрические стальные резервуары подвергаются воздействию различных видов внешнего и внутреннего нагружения. При этом во всех точках деформируемых объектов возникают сочетания механических напряжений, под действием которых составляющие элементы резервуара обретают сложное напряженно-деформированное состояние. Для обеспечения безопасной эксплуатации необходимо своевременно определять техническое состояние резервуара, уделяя большое внимание анализу напряженно-деформированного состояния всех частей конструкции.

Надежность вертикальных стальных резервуаров является одним из основополагающих факторов в бесперебойной работе всей системы трубопроводного транспорта. На сегодняшний день данный вопрос представляется хорошо изученным, но требует постоянного контроля и мониторинга на всех стадиях жизненного цикла. Теоретическим и методическим вопросам эксплуатационной надежности и оценке состояния резервуаров и их остаточного ресурса посвящены работы многих ученых и специалистов: Березина В.Л. [1, 2, 3], Евдокимова В.В. [10], Чепура П.В. [7], Сафаряна М.К. [4, 5], Головачева А.А. [8, 9], и других. Работы Тарасенко А.А. [11, 12] посвящены разработке методических основ ремонта стальных резервуаров, при учете аналитической оценки их напряженно-деформированного состояния.

					Анализ влияния дефектов геометрии стенки РВС на его напряженно-деформированное состояние при эксплуатации			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				
<i>Разраб.</i>		Калинин А.А.			Литературный обзор	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Руковод.</i>		Валитова Е.Ю.					18	96
<i>Консульт.</i>						Отделение нефтегазового дела Группа 2Б7Б		
<i>Рук-ль ООП</i>		Брусник О.В.						

Публикации Хоперского Г.Г. [6], Слепнева И.В. [13], Чепура П.В. [14] – анализу влияния изменения пространственного положения конструкции резервуара, полученного благодаря лазерному сканированию, на напряженно-деформированное состояние стенок и днища резервуара, при неравномерной осадке по периметру. В публикациях ученого Березина В.Л. [1,2,3] собраны аналитические методики определения прочности и устойчивости конструкций резервуаров и трубопроводов при исследовании поведения их элементов при стандартных эксплуатационных нагрузках без учета внешних факторов.

Получение достоверных результатов при анализе напряженно-деформированного состояния резервуара напрямую перекликается с точностью проведенного конечно-элементного моделирования. Оно в свою очередь зависит от достоверности полученной информации о нарушении геометрии РВС. Данному вопросу посвящена публикация М. Кошечкина [17]. Основная идея работы заключается в бесконтактном измерении геометрической деформации стенки резервуара в процессе эксплуатации, за счет фактора температурного расширения. Эта задача решается благодаря лазерному дальномеру с датчиком температуры, закрепленным на внутренней стенке резервуара, сопряженному с вычислительным комплексом на базе программного обеспечения для обработки информации и выдачи результатов. Данные, получаемые с датчика температуры, позволяют скорректировать точность измерения положения стенок резервуара с дефектами за счет учета перепадов температуры. В работе [18] авторы показывают способ дистанционного мониторинга целостности труб и резервуаров за счет виброакустических датчиков, отвечающих за множество секций объекта. Сигналы с датчиков используются для расчета акустической энергии вдоль секции, позволяющие определять раннее образование дефектов на объекте.

В работах [8, 9, 10] авторы исследовали напряженно-деформированное состояние отдельных геометрических несоответствий стенки резервуара. Евдокимов В.В., Труфанов Н.А., Сметанников О.Ю. [10] предложили методику определения размерности и расположения предельно допустимых дефектов типа вмятин и выпучин на поверхности стенки, посредством статистического сравнения уровня влияния дефектов на напряженно-деформированное состояние конечно-элементной сборки резервуара. Остаточный ресурс конструкции определяется отношением значений эксплуатационного повреждения к нормативам изготовления объекта по проектной и исполнительной документации.

Научные труды Буренина В.А. [15] представляют особый интерес, так как в работе представлен современный взгляд на универсальную систему прогнозирования остаточного ресурса резервуаров, позволяющую накапливать, обобщать и анализировать опыт их эксплуатации для усовершенствования качества моделей прогнозирования. На основании проведенных в работе расчетов напряженно-деформированного состояния строится прогноз индивидуального остаточного ресурса резервуара. Прогноз должен содержать информацию о величине остаточного ресурса на заданном множестве точек в основных конструктивных элементах. При наличии прогнозируемых значений остаточных ресурсов типовых моделей можно осуществить планирование ремонтов резервуаров не только по времени, но и по составу, причем становится возможной оптимизация этих планов по критерию минимума затрат на протяжении всего жизненного цикла, т.к., зная состав работ при проведении текущего ремонта, можно определить величину финансовых и трудовых затрат, а значит и стоимость каждого ремонта и суммарные затраты на протяжении всего жизненного цикла конструкции.

Начиная еще с 1961 году, ученые начали задаваться вопросами прочностных расчетов напряженного-деформированного состояния сложных стальных конструкций. Методику аналитического расчета напряженно-

					Литературный обзор	Лист
						20
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

деформированного состояния стенок резервуара и их устойчивости при воздействии нагрузок эксплуатации представил Сафарян М.К. [4].

В процессе развития науки и техники данная методика была переквалифицирована в численный расчет методом конечных элементов, позволяющий на основе пространственных моделей получить значения деформаций конструкции, выявлять места с концентрацией напряжений под действием заданных в программе нагрузок. Данному вопросу посвящена совместная работа Чепура П.В. и Тарасенко А.А. [7]. Авторы применили метод конечных элементов при рассмотрении НДС резервуара. Прделана детальная работа по исследованию действительных конструкций резервуаров и моделированию его основных элементов различными конечными элементами. Применена теория тонкостенных оболочек для упрощения модели и получения наиболее корректного отображения конечно-элементной сетки. Работы проводились на базе программного комплекса ANSYS.

В настоящий момент, получение действительного отображения объектов в виде 3D-модели возможно благодаря системе наземного лазерного сканирования. Тишкин В.О. в научной публикации наиболее полно рассматривает данный вопрос. Результатом сканирования является облако точек высокой плотности, после обработки которого, мы получаем высокоточную пространственную модель реального резервуара, учитывающую любые геометрические погрешности конструкции [16]. Цифровые двойники, полученные в результате лазерного сканирования и численного математического моделирования, помогают прогнозировать надежность резервуаров, в том числе, учитывая имеющиеся на поверхности дефекты. Прогноз остаточного ресурса возможен, благодаря анализу полученного цифрового двойника, а именно - анализу эволюции его напряженно-деформированного состояния при воздействии различного рода эксплуатационных нагрузок.

					Литературный обзор	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		21

Анализ приведенных концепций определения надежности показывает, что ключевым звеном в системе диагностирования технического состояния РВС являются алгоритмы численного описания поверхностей конструкции, т.к. допущения о возможности дальнейшей безопасной эксплуатации формируются на основании информации о величине изменений напряженно-деформированного состояния разработанной модели.

В настоящее время уделяется большое внимание продлению эксплуатации резервуаров, исчерпавших свой нормативный срок, либо резервуаров подверженных минимальным дефектам. Обеспечение должной степени безаварийности при эксплуатации подобных объектов может быть достигнуто благодаря расширению методической базы, путем разработки большого числа точных моделей действующих резервуаров, позволяющих анализировать и выявлять наиболее уязвимые из них. Наиболее подходящей структурой для подобного анализа является сочетание методики трехмерного наземного лазерного сканирования, позволяющей верно с точностью до 0,25 мм оценивать отклонения реальной геометрической формы резервуара от его проектного положения и получать максимально приближенные к реальности 3D-модели, а также методики обработки полученной модели и проведения дальнейшего анализа напряженно-деформированного состояния методом конечных элементов при учете эксплуатационных нагрузок и внешних силовых факторов, на базе программного комплекса ANSYS.

					Литературный обзор	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		22

1 Изучение вопросов напряженно-деформированного состояния резервуара с дефектами геометрии

1.1 Дефекты геометрии стенки резервуара

При проектировании стальной конструкции задаются ее формой и размерами. После изготовления и монтажа конструкция, вследствие несовершенства технологий указанных процессов, может отличаться от проектной версии. Стенки и днища резервуаров всех типов объемом 10000м³ и более, согласно нормативной и конструкторской документации [19, с. 16], должны изготавливаться и монтироваться методом листовой сборки. В процессе монтажа, возможны нарушения технологии сборки, что приводит к физическому воздействию и деформации отдельных элементов конструкции. Образовавшийся технологический дефект повлияет на восприятие нагрузок всей конструкции резервуара и выступит концентратором напряжений. В процессе эксплуатации к возможным начальным дефектам добавляется различного рода нагрузка, вызванная воздействием эксплуатационных факторов. Для стенки резервуара основными эксплуатационными нагрузками являются гидростатическое давление хранимой жидкости, а также, нагрузки, передаваемые на стенку от крыши. Эти нагрузки приводят к возникновению растягивающих напряжений в большей части стенки резервуара. Также благодаря им возникает напряжение изгиба в местах соединения стенки с днищем и соединения разнотолщинных поясов. Прочность поясов стенки резервуара обеспечивает способность восприятия данных нагрузок.

					Анализ влияния дефектов геометрии стенки РВС на его напряженно-деформированное состояние при эксплуатации			
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата				
Разраб.		Калинин А.А.			Изучение вопросов напряженно-деформированного состояния резервуара с дефектами геометрии	Лит.	Лист	Листов
Руковод.		Валитова Е.Ю.					23	96
Консульт.						Отделение нефтегазового дела Группа 2Б7Б		
Рук-ль ООП		Брусник О.В.						

Опасными для стенки являются нагрузки, вызывающие напряжения сжатия. Такими нагрузками являются: собственный вес конструкций и оборудования, установленного на крыше резервуара, нагрузка при выпадении осадков, а также вакуум в газовом пространстве резервуара и ветровая нагрузка. Сопротивляемость данным нагрузкам, обеспечивается устойчивостью стенки резервуара.

Наиболее распространенными при монтаже и эксплуатации являются дефекты типа локальных вмятин и выпучин различных размеров, расположений и причин возникновения либо типа отклонений цилиндрической стенки резервуара от вертикальной образующей. Местные искажения геометрической формы (локальные выпучины и вмятины) являются результатом изготовления или монтажа, и тогда, в большинстве случаев, они располагаются на участках стенки, прилегающих к замыкающему монтажному шву, соединяющему рулоны стенки, а также в зонах других сварных соединений. Иногда такие дефекты являются результатом перегрузки резервуара вакуумом или избыточным давлением и тогда они располагаются, в большинстве случаев, на участках примыкания стенки к кровле. Пример геометрических несовершенств стенки стального резервуара показан на рисунке 1.



Рисунок 1 – Дефект геометрии стенки РВС типа вмятин

					Изучение вопросов напряженно-деформированного состояния резервуара с дефектами геометрии	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		24

Безопасная эксплуатация резервуаров может быть достигнута в результате комплексного подхода к нормированию подобного рода дефектов. Согласно статистике эксплуатации РВС, локальные дефекты геометрии стенки являются одной из основных причин выхода из строя и составляют порядка 25% от всех видов дефектов, включающих коррозионный износ, дефекты сварных швов, дефекты основного металла и др. Отклонения цилиндрической стенки от образующей являются погрешностями монтажа, вызывая при этом искажение геометрической формы поверхности стенки, и очень часто напрямую связаны с общим креном или неравномерной осадкой резервуаров. Для РВС-10000 высотой до 12 м допустимыми являются отклонения меньше тех, что указаны в таблице 1. При этом 25% образующих могут иметь отклонения на 30% больше, чем указано.

Таблица 1 – Предельные отклонения образующих

№ пояса	1	2	3	4	5	6	7	8
Величина отклонения, мм	20	30	40	50	60	70	75	80

1.2 Методики измерения и обработки данных

Моделирование действительной поверхности конструкций тонкостенных сооружений может быть выполнено на основании результатов натуральных обмеров геометрической формы обследуемых сооружений. Цель измерения фактических геометрических параметров резервуаров состоит в том, чтоб проанализировать состояние и положение объекта, учитывая все нормативные допустимые отклонения. На основании этого контроля своевременно разрабатывают и проводят инженерно-технические мероприятия по предупреждению и устранению опасных для конструкций несоответствий.

Конструкция РВС закладывается по лекалам государственных стандартов, которые содержат в себе рекомендуемые геометрические параметры резервуаров в зависимости от номинального объема. Для определения фактической геометрии РВС в конкретных случаях на промысле применяются различные методы, позволяющие создать проекцию в виде объемной геометрической модели в точности повторяющую геометрию объекта.

1.2.1 Традиционные методы определения геометрической формы стенки резервуара, находящегося в эксплуатации

Для выявления фактической геометрии резервуара измеряется величина отклонений, образующих стенки на уровне верха каждого пояса от вертикали, проведенной из нижней точки первого пояса. Измерения отклонений при традиционном подходе к измерению проводят либо с помощью отвеса путем прямых измерений, либо с помощью теодолита или другими методами. Измерения целесообразно проводить дважды: на заполненном и пустом резервуаре в целях определения мест наибольших деформаций и выявления напряженно-деформированного состояния стенки под нагрузкой. При этом необходимо обращать особое внимание на местные выпучины и вмятины и проводить в этих местах дополнительные измерения.

При измерении традиционным способом, исходные данные для построения пространственной модели резервуара будут состоять из основных геометрических характеристик конструкции, количества поясов, количества точек в каждом поясе и значений отклонений в этих точках от образующей.

					Изучение вопросов напряженно-деформированного состояния резервуара с дефектами геометрии	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		26

1.2.2 Определение геометрической формы стенки резервуара методом наземного лазерного сканирования

Наземное лазерное сканирование это – наиболее современная методика трехмерного сканирования, цель которой, это определение координат точек, принадлежащих поверхности, для последующего получения детального действительного изображения этой поверхности в формате 3D-модели, посредством специальных программных комплексов и лазерных сканеров, отличительной чертой которой являются высокая детальность, скорость и точность измерений. Наземный лазерный сканер является новым этапом развития электронных тахеометров. Результатом сканирования является файл, содержащих информацию о расстояниях от лазерного сканера до точек поверхности, а также вертикальные и горизонтальные углы направления распространения лазерного луча. Полученные данные могут быть интерпретированы в виде трехмерного отображения, посредством облака точек, в котором каждая точка определяется пространственными координатами (x, y, z) с точностью до 0,25 мм в глобальной геодезической системе координат и информацией о интенсивности отражения лазерного сигнала. Наземный лазерный сканер выполняет съемку с высокой точностью, скоростью проведения работ и детальностью полученных данных. Определение геометрической формы стенки резервуара, находящегося в эксплуатации, методом наземного лазерного сканирования, позволяет учесть топографию местных дефектов геометрической формы (выпучины, вмятины и т.п.) достаточно малой величины.

Для НЛС существенным являются три основных этапа выполнения работ:

- сбор данных;
- предварительная обработка результатов съёмки;
- выбор данных для построения геометрической модели, представляющий собой упрощение результатов съемки поясов стенки резервуара.

					Изучение вопросов напряженно-деформированного состояния резервуара с дефектами геометрии	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		27

Наиболее сложным и трудоемким этапом является обработка данных съёмки т.к. полученные после сканирования выходные данные содержат избыточную информацию, которую необходимо прореживать с целью практической реализации в процессе построения геометрической модели и дальнейшего достоверного проведения инженерного анализа методом конечных элементов.

Проведения измерений с помощью наземного лазерного сканера позволяет:

- свести к минимуму нахождение исполнителя внутри резервуара, а иногда и исключить вовсе, опустив сканер с помощью специальных приспособлений в резервуар через верхнюю смотровую горловину;
- обеспечить несопоставимо с традиционными методами высокую скорость и точность измерений, а также детализацию конечного результата, в виде конечно-элементной сетки.

Таким образом, методика трехмерного сканирования позволяет минимизировать влияние внешних факторов на точность получаемых результатов. При традиционном методе определения фактической геометрии резервуара присутствуют погрешности в виде метрологических свойств объекта, а также метеорологических условий проведения работы. Также важным преимуществом работы с наземным лазерным сканером является сокращение времени сбора и обработки данных. В данной работе, в связи с отсутствием допуска у студентов к подобного рода информации, при создании модели РВС будут использоваться габаритные размеры и геометрические параметры, полученные ранее при анализе результатов лазерной съёмки резервуара объемом 10000 м^3 .

					Изучение вопросов напряженно-деформированного состояния резервуара с дефектами геометрии	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		28

1.3 Инженерный анализ методом конечных элементов (МКЭ)

После определения фактической геометрии РВС, наступает этап обработки результатов съемки и построение пространственной модели объекта. Модель приводится к пригодному для анализа виду. Все лишнее удаляется, все нужное остается. И уже после этого наступает этап инженерного анализа. Инженерный анализ – это комплекс мероприятий, предназначенных для определения способности оборудования, конструкций, а также производимой продукции выдерживать заданные проектные нагрузки и бесперебойно функционировать на протяжении всего расчетного времени эксплуатации. В современной промышленности, строительстве и т.д. широко используются многофункциональные программные пакеты автоматизированного проектирования, позволяющие проводить достоверный инженерный анализ компьютерных моделей, не прибегая к реальным экспериментам над рассматриваемыми объектами. Наиболее разносторонним и многопрофильным является метод конечных элементов, используемый в различных областях и для различных типов анализа.

Метод конечных элементов является аналитической процедурой, для решения разной сложности инженерных и физических задач. Ключевой момент при анализе поведения конструкций методом конечных элементов заключается в качестве построения конечно-элементной модели объекта: исследуемому объекту назначаются геометрические параметры для каждого элемента, а также механические характеристики материала объекта для оптимизации построения конечно-элементной сетки, состоящей из множества подобластей, решение в которых аппроксимируется кусочно-непрерывными функциями (конечные элементы), в каждой из которых поведение среды характеризуется с помощью отдельного набора выбранных функций, представляющих напряжения и/или перемещения для каждого отдельного элемента, в указанной области. В промышленных или строительных конструкциях почти всегда присутствуют сложные формы,

					Изучение вопросов напряженно-деформированного состояния резервуара с дефектами геометрии	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		29

состоящие к тому же из различных материалов. Метод конечных элементов (МКЭ) для решения задач оценивания и проектирования конструкций сложных форм является наиболее популярным. Основное преимущество МКЭ это её универсальность, которая позволяет единым способом проводить расчет различных конструкций с различными свойствами материалов. Основная проблема метода – построение трехмерной конечно-элементной сетки, особенно для объектов сложной геометрии.

Метод применим для получения информации о перемещениях, деформациях и напряжениях исследуемой конструкции, на основании которых можно принимать решения о продлении срока безопасной эксплуатации объекта, о его выводе в ремонт или согласовании дополнительных мер для обеспечения надежности эксплуатации. Принципиальным здесь является анализ напряженно-деформированного состояния при учете реальных эксплуатационных нагрузок и разработке критериев устойчивости, в том числе при помощи обязательном ограничении степеней свободы, на основании уже которых в дальнейшем будут формироваться инженерно-технические и ремонтные мероприятия.

Положение и 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. Общее уравнение равновесия модели множества конечных элементов исследуемого твердо-деформируемого тела складывается из условий равновесия узлов конечных элементов и имеет вид:

$$[K]\{U\} = \{P\} + \{P\}^q + \{P\}^g + \{P\}^{\varepsilon_0} + \{P\}^{\sigma_0}, \quad (1)$$

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;

					Изучение вопросов напряженно-деформированного состояния резервуара с дефектами геометрии	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		30

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

Коэффициенты жесткости конечно-элементной модели $[K]$ находятся путем сложения коэффициентов жесткости каждого отдельного конечного элемента, а глобальный вектор заданных внешних узловых сил $\{P\}$ можно расписать в виде:

$$\{P\} = \begin{pmatrix} P \\ \cdot \\ \cdot \\ P_s \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ P_N \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} P_1 \\ \dots \\ P_i \\ \dots \\ P_n \end{pmatrix}, \quad (2)$$

где $P_i = \{P_i\}$ – представляет собой подматрицу из n компонентов силы, которые приложены к i -ому узлу конечно-элементной модели.

Для решения задач безопасности и бесперебойности работы опасных производственных объектов важным является проведение исследований напряженно-деформированного состояния, использование теории вероятности и механики движения деформируемого тела, а также оценивание надежности объекта как механической системы. Натурные испытания механики движений конструкции в течение эксплуатации делают возможным с научной точки зрения обосновать во время стадии проектирования материалов, выбора размеров, в том числе новых конструктивных решений. Решение таких задач помогает задавать достаточные технологические режимы при эксплуатации и давать прогноз изменению напряженно-деформированного состояния объекта.

1.4 Использование метода конечных элементов при анализе напряженно-деформированного состояния РВС

На сегодняшний день анализ напряженно-деформированного состояния резервуаров проводится исходя из аналитического или численного метода расчета. Со временем стало понятно, что аналитический метод далеко не совершенен и не позволяет реально оценивать ресурс эксплуатируемого объекта. Это связано с тем, что подобные расчеты не могут досконально учесть все конструктивные особенности каждого резервуара в отдельности, а также их условия эксплуатации, внешние и эксплуатационные фактора, в том числе - возникающие дефекты. Численный метод расчета НДС производится при помощи современных программных комплексов, самые востребованные из которых - использующие расчет на основе метода конечных элементов. МКЭ позволяет анализировать напряженно-деформированное состояние различных конструкций, выполненных из металла, бетона и других материалов, как следствие, использование численного моделирования именно в нефтегазовой отрасли имеет принципиальную роль для расчета НДС объектов транспорта и хранения: трубопроводов и резервуаров при различных воздействиях на них.

От вида напряженно-деформированного состояния и геометрической формы резервуара зависят тип и размер конечных элементов. Конечные элементы бывают оболочечными, стержневыми, кольцевыми, двумерными, трехмерными и имеют разнообразные свойства, поддающиеся настройке. Элементы и узлы конечного элемента имеют глобальную и локальную нумерации, существование которых позволяет достигать наименьших усилий при вычислениях. В процессе решения задачи определяются зависимости между номерами узлов и элементов. Необходимо задать физико-механические свойства воздействия на стенку, днище и кровлю резервуара. Для прогноза деформаций стальной конструкции резервуара, необходимо учитывать механические характеристики материала элементов резервуара.

					Изучение вопросов напряженно-деформированного состояния резервуара с дефектами геометрии	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		32

Для полноценной подготовки конечно-элементной модели с предельными возможностями для моделирования, учета силового, геометрического характера, а также выполнения разных методов расчета используют программные комплексы конечно-элементного анализа. Наиболее подходящим комплексом для задач промышленных отраслей и различного рода опасных производственных объектов является ANSYS. Примером подобного анализа напряженно-деформированного состояния резервуара методом конечных элементов в среде ANSYS Workbench является работа Тарасенко А.А. [7]. Структура его публикации включает в себя проведение статического конструкционного анализа РВС, а также динамического, который может в полной мере отслеживать изменение перемещений и деформаций конструкции стенки резервуара в процессе динамических операций наполнения и опорожнения заданной жидкостью. В задачах статического анализа автором проводится поиск отклика конструкции на приложенные статические нагрузки при определенном уровне налива жидкости заданной плотности. ANSYS применяется в крупных проектных организациях, которые занимаются проектированием сооружений и объектов трубопроводного транспорта. Рабочая среда Workbench использует окна настроек. Каждое окно управляет всем функционалом и настройками на всех этапах моделирования: создание геометрической модели, создание расчетной сетки, приложение нагрузки (определение граничных условий), просмотр расчетных результатов.

Применение метода конечных элементов является наиболее рациональным и эффективным современным способом решения задач прогнозирования ресурса. Данный метод заключается в аппроксимации изучаемого объекта идентичной моделью, представляющей собой комплекс составных элементов. Такие элементы связаны в узлах, куда затем прикладываются силы, которые эквивалентны эксплуатационным нагрузкам, которые распределены по границам данных элементов. МКЭ используется в основном после проведения технического диагностирования РВС, в

					Изучение вопросов напряженно-деформированного состояния резервуара с дефектами геометрии	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		33

результате которого были обнаружены дефекты. В правилах ремонта и реконструкции резервуаров ПАО «Транснефть» [21] проведение подобного анализа является обязательным при выявлении несоответствий конструкции резервуаров. С помощью данного метода в относительно короткие сроки можно провести оценку характеристик различных вариаций нагрузок конструкции и затем выбрать самую эффективную.

					Изучение вопросов напряженно-деформированного состояния резервуара с дефектами геометрии	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		34

2 Расчёт напряженно-деформированного состояния резервуара. Конечно-элементная модель РВС-10000 с дефектом геометрии стенки.

2.1 Описание исследуемого резервуара

Объектом исследования является резервуар вертикальный стальной объемом 10000 м³ с дефектом геометрии стенки – вмятиной. Основой для моделирования и проведения последующих расчетов напряженно-деформированного состояния послужил массив данных, из которого были выделены основные габаритные размеры и геометрические параметры как самого резервуара, так и образовавшегося дефекта геометрии стенки. Для корректной работы алгоритма решения и экономии вычислительных ресурсов в геометрии резервуара сделаны упрощения. Из модели исключены: дыхательная арматура, приемно-отпускные устройства, а также стационарное оборудование, установленное на крыше. Их отсутствие при моделировании будет компенсировано приложенной дополнительной нагрузкой в 30 кН.

Стенки и днища резервуаров всех типов объемом 10000 м³ и более должны монтироваться методом полистовой сборки [19, с. 16]. Для сооружения стенки резервуара используются листы с размерами 2290 × 6990 мм. Один пояс стенки нашего цилиндрического резервуара состоит из 12 листов размерами 2290×6990 мм и 1 листа размером 2290×4688 мм. Число поясов равняется 7, а точная высота стенки резервуара:

$$H = 2290 \cdot 7 = 16030 \text{ мм.}$$

В одном из поясов образовался технологический дефект вследствие удара о поверхность стенки. Параметры вмятины эллиптического вида также как и основные характеристики элементов резервуара и его габаритные размеры представлены в таблице 2.

					Анализ влияния дефектов геометрии стенки РВС на его напряженно-деформированное состояние при эксплуатации			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				
<i>Разраб.</i>		Калинин А.А.			Расчёт напряженно-деформированного состояния резервуара. Конечно-элементная модель РВС-10000 с дефектом геометрии стенки.	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Руковод.</i>		Валитова Е.Ю.				35	96	
<i>Консульт.</i>						Отделение нефтегазового дела Группа 2Б7Б		
<i>Рук-ль ООП</i>		Брусник О.В.						

Таблица 2 – Основные характеристики объекта исследования

Параметр	Значение
Номинальный объем, м ³	10000
Внутренний диаметр, мм	28190
Высота резервуара, мм	17573
Периметр резервуара, мм	88517
Фактический объем, м ³	10012
Расчетная высота налива, мм	13200
Плотность продукта, кг/м ³	850
Стенка	
Количество поясов, шт	7
Толщина 1-го пояса, мм	14
Толщина 2–5-го пояса, мм	12
Толщина 6–7-го пояса, мм	8
Днище	
Толщина центральной части днища, мм	8
Толщина окрайки, мм	11
Ширина окрайки, мм	700
Крыша	
Количество радиальных балок (щитов), шт	50
Толщина настила, мм	4
Уклон крыши к горизонтальной поверхности, °	7
Диаметр кольца жесткости, мм	3250
Масса 1 щита кровли, кг	1035
Вмятина	
Максимальная высота, м	2,4
Максимальная ширина, м	1,8
Максимальная глубина раскрытия, м	0,2

В качестве материала для изготовления данного резервуара используется низколегированная конструкционная сталь 09Г2С.

2.2 Структура выполнения анализа

Процесс типового расчета разделен на 4 основных этапа:

На первом этапе выполняются работы по построению модели конструкции РВС-10000. Разработку твердотельной 3D-модели будем производить в программном обеспечении SolidWorks, с учетом ее дальнейшего импорта в Ansys, для проведения статического конструкционного анализа.

На втором этапе, после того, как геометрическая модель импортирована из внешней CAD программы SolidWorks, переходим к настройке расчетной модели, включающей в себя:

- конвертацию крупногабаритных твердотельных элементов модели в оболочечные для оптимизации конечно-элементной сетки (используются внутренние инструменты адаптации геометрии ANSYS);
- редактирование поверхностей поясов стенки резервуара, путём создания дефекта геометрии – вмятины (используются внутренние инструменты адаптации геометрии ANSYS);
- назначение толщин оболочечных элементов, а также назначение механических характеристик материала изделия;
- назначение контактных пар;
- разбиение геометрической модели на конечные элементы (построение сетки).

На третьем этапе, после получения конечно-элементной модели, проводится модальный анализ свободных механических колебаний без учета динамических нагрузок, с целью определения качества подготовки модели – проверяется наличие всех необходимых сопряжений между телами сборки. Далее формируется система нагрузок, воздействующая на объект (в том числе граничные условия) и запускается расчет

					Расчёт напряженно-деформированного состояния резервуара. Конечно-элементная модель РВС-10000 с дефектом геометрии стенки.	Лист
						37
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

На последнем – четвертом этапе выполняется анализ и обработка полученных результатов. При постпроцессинге выводятся необходимые параметры решения: перемещения, деформация, эквивалентные напряжения по Мизесу и т.д.

2.3 Определение допускаемых напряжений

При эксплуатации резервуара, материал его элементов подвержен деформациям за счет приложения усилий, при которых тело искажает свои формы. Способность материала сопротивляться деформации зависит от его механических свойств. В таблице 3 приведены механические свойства стали конструкций резервуара [23].

Таблица 3 – Механические свойства стали 09Г2С

Характеристика	Значение	
<i>Для листов с толщиной до 20 мм</i>		
Предел текучести (класс прочности), Н/мм ²	≤10 мм	345
	10–20 мм	325
Временное сопротивление разрыву (предел прочности), Н/мм ²	≤10 мм	480
	10–20 мм	450
Плотность, кг/м ³	7850	
Модуль упругости (модуль Юнга), МПа	2·10 ⁵	

Определим также допускаемое напряжение при растяжении

Допускаемое напряжение материала пояса стенки по пределу текучести определяется по формуле:

$$R_i = \frac{R_{yn} \cdot \gamma_c \cdot \gamma_t}{\gamma_m \cdot \gamma_n}, \quad (3)$$

где R_{yn} – минимальное значению предела текучести, принимаемому по государственным стандартам на листовую прокат;

γ_c – коэффициент условий работы, $\gamma_c = 0,7$ для нижнего пояса, $\gamma_c = 0,8$ для остальных поясов;

γ_t – температурный коэффициент, $\gamma_t = 1$;

					Расчёт напряженно-деформированного состояния резервуара. Конечно-элементная модель РВС-10000 с дефектом геометрии стенки.	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		38

γ_m – коэффициент надежности по материалу (для проката при статистической процедуре контроля его свойств), $\gamma_m = 1,025$ [20, с. 18];

γ_n – коэффициент надежности по ответственности, $\gamma_n = 1,05$ [19, с. 26].

Для первого пояса допускаемое напряжение при толщине листов стенки 14 мм:

$$R_1 = \frac{325 \cdot 0,7 \cdot 1}{1,025 \cdot 1,05} = 210 \text{ МПа.}$$

Для средних поясов 2–5 допускаемое напряжение при толщине листов стенки 12 мм:

$$R_{2-5} = \frac{325 \cdot 0,8 \cdot 1}{1,025 \cdot 1,05} = 242 \text{ МПа.}$$

Для верхних поясов 6–7 допускаемое напряжение при толщине листов стенки ≤ 10 мм:

$$R_{6-7} = \frac{345 \cdot 0,8 \cdot 1}{1,025 \cdot 1,05} = 256 \text{ МПа.}$$

2.4 Нагрузки и воздействия

Опорой вертикального стального резервуара, служит, как правило, подготовленное естественное основание. Чаще всего это подсыпки на основание резервуара, выполненных из грунтовых и песчаных подушек. Резервуар давит всем своим весом на основание и фундаментальное кольцо. Кроме собственного веса на резервуар, находящийся в эксплуатации воздействуют соответствующие нагрузки и внешние силы. На рисунке 2 представлена схема нагрузки и воздействий на конструкцию резервуара, которая будет применена при подготовке объекта к проведению расчетов.

					Расчёт напряженно-деформированного состояния резервуара. Конечно-элементная модель РВС-10000 с дефектом геометрии стенки.	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		39

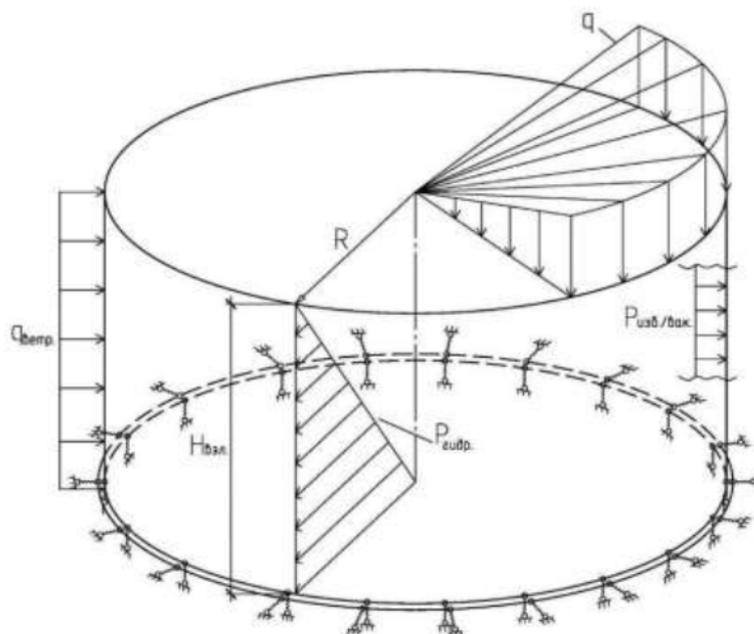


Рисунок 2 – Схема воздействий на резервуар при статическом анализе

где R – радиус резервуара, м;

$H_{взл.}$ – высота налива хранимой жидкости, м;

$q_{ветр.}$ – нагрузка от давления ветра, Па;

$P_{гидр.}$ – нагрузка от давления столба жидкости, Па;

$P_{изб./вак.}$ – избыточное давление или вакуума в газовом пространстве РВС, Па;

q – суммарная нагрузка от веса снегового покрова, стационарного оборудования.

Основное воздействие на резервуар оказывает гидростатическое давление столба жидкости, заданной плотности. При определенном уровне слива/налива значение усилия на элементы резервуара меняется.

2.5 Построение геометрической модели резервуара

2.5.1 Построение твердотельной модели РВС-10000 в SolidWorks

Для реализации конечно-элементной модели РВС-10000 в программной системе ANSYS необходимо разработать основные элементы резервуара, которые соответствуют реальным техническим и

					Расчёт напряженно-деформированного состояния резервуара. Конечно-элементная модель РВС-10000 с дефектом геометрии стенки.	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		40

геометрическим характеристикам. Построение твердотельной геометрии модели резервуара реализовано в программном обеспечении SolidWorks.

Для геометрического моделирования днища резервуара строим эскизы центральной части днища и кольцевой окрайки согласно заданному диаметру и ширине окрайки. Далее используем вытягивание оболочки, применяемое для контуров полученных эскизов на 8 и 11 мм соответственно. Задаем взаимосвязи между двумя деталями.

Моделирование вертикальной стенки из отдельных листов необходимо начинать с нижнего пояса. Создаем общий эскиз пояса стенки, разделяя его на листы заданной ширины и толщины. Один пояс стенки нашего цилиндрического резервуара состоит из 12 листов размерами 2290×6990 мм и 1 листа размером 2290×4688 мм. Далее вытягиваем эскизы на нужную высоту и объединяем полученные элементы между собой, воспроизводя тем самым полистовый метод сборки (Рисунок 3).



Рисунок 3 – Построение поясов резервуара

					Расчёт напряженно-деформированного состояния резервуара. Конечно-элементная модель РВС-10000 с дефектом геометрии стенки.	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		41

Для резервуаров диаметром до 30 метров применимы каркасные конические крыши. Крыша нашего резервуара собрана щитовым методом. Каркас крыши представляет собой систему из радиальных и кольцевых балок. Центральное опорное кольцо диаметром 3250 мм является ключевым элементом в надежности каркасы крыши резервуара. Щит собираем из радиальных балок (рёбер) и листового настила. Угол наклона крыши составляет 7° (1:6). Толщина настила крыши 4 мм. Зная также расстояние от центральной оси до стенки резервуара, получаем остальные размеры автоматически (Рисунок 4).

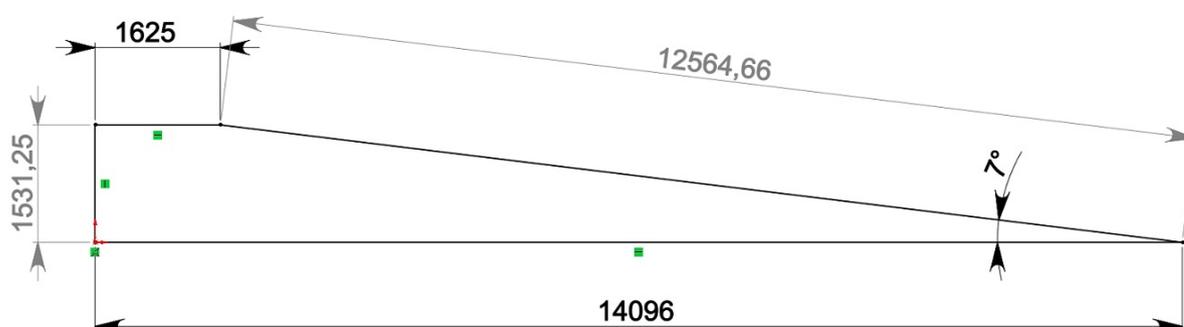


Рисунок 4 – Построение щитового каркаса крыши РВС

Каждый щит имеет элементы жесткости из радиально расположенных швеллеров и поперечных элементов в виде уголков. В зоне опоры на вертикальную стенку, жестко закреплен швеллер, являющийся частью каркасного щита.

Зная длину окружности, получаем размер опорного швеллера в каждом из 50 щитов (Рисунок 5), равный 1769,31 мм.

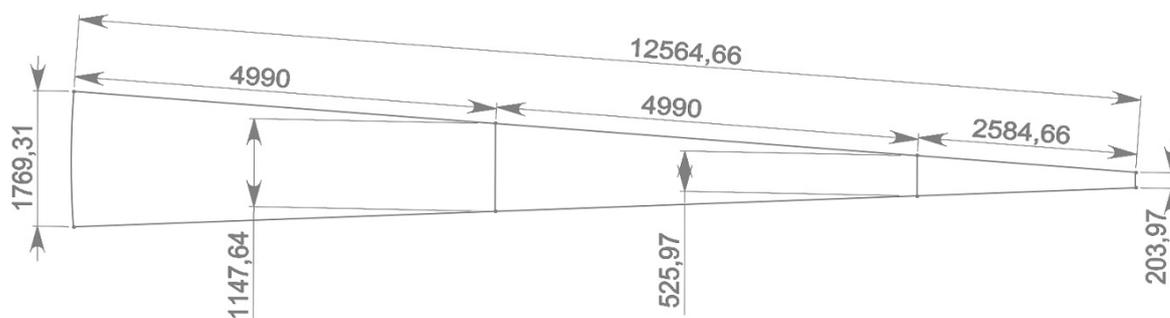


Рисунок 5 – Проектирование щитового каркаса крыши РВС

					Расчёт напряженно-деформированного состояния резервуара. Конечно-элементная модель РВС-10000 с дефектом геометрии стенки.	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		42

С учетом суммарной нагрузки от действия давления снегового покрова и силы стационарного оборудования, установленного на крыше резервуара, конструкция щита была спроектирована с усилением в виде сдвоенных швеллеров высотой $h = 100$ мм, шириной полки $b = 50$ мм и уголков размером 35×35 мм.

2.5.2 Перенос твердотельной модели в ANSYS

После моделирования основных элементов резервуара, проведена процедура последовательной сборки модели, с учетом взаимосвязей элементов. По окончании построения твердотельной модели PBC, импортируем её во встроенный модуль Design Modeler программного обеспечения ANSYS. На рисунке 6 показан первоначальный общий вид отображения геометрической модели резервуара в ANSYS Design Modeler.

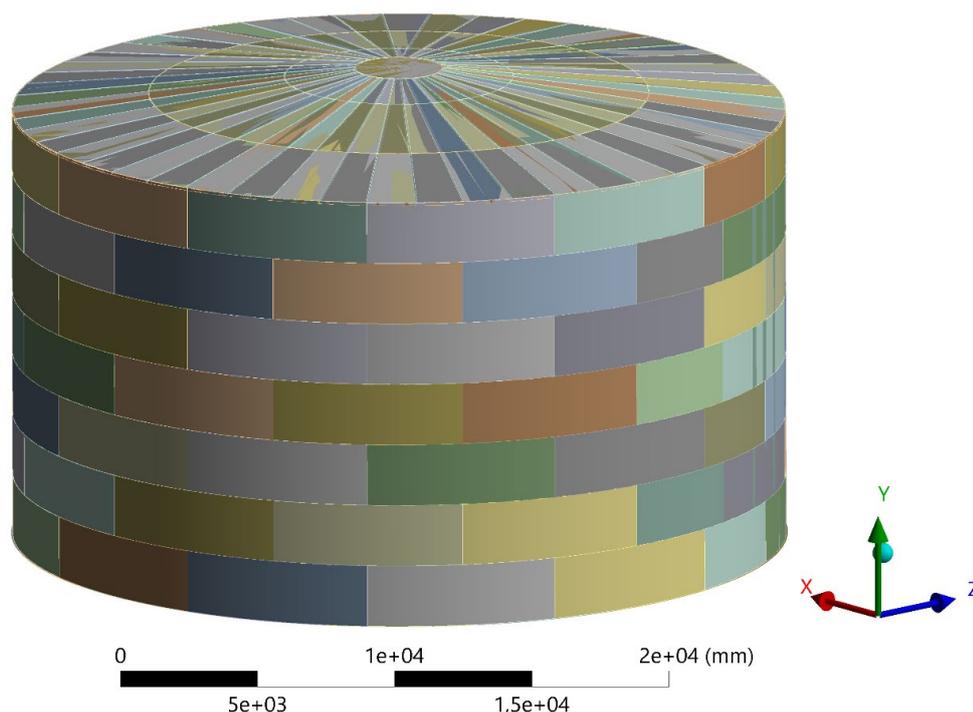


Рисунок 6 – Общий вид твердотельной модели после импорта в ANSYS

Для экономии вычислительных ресурсов при последующей обработке модели проведена оптимизация ее структуры, с которой продолжена дальнейшая работа по расчету показателей напряженно-деформированного состояния резервуара.

					Расчёт напряженно-деформированного состояния резервуара. Конечно-элементная модель PBC-10000 с дефектом геометрии стенки.	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		43

2.5.3 Оптимизация структуры геометрической модели РВС-10000

После воспроизведения геометрии резервуара переходим в меню Workbench и создаем систему статического конструкционного анализа – Static Structural. Импортируем созданную геометрию во встроенный модуль Design Modeler (п.2.5.2). Для удобства моделирования дефекта вмятины на стенке РВС, получения более быстрого отклика программы и генерации наиболее корректной конечно-элементной сетки, воспользуемся упрощением основных элементов конструкции – объединим пояса стенки с одинаковой принятой толщиной. Также произведем упрощение элементов конструкции крыши:

- Сдвоенные швеллеры заменены на двутавры;
- Кусочно-прямолинейный профиль стропил из конструкции щита аппроксимирован сплошным криволинейным;
- Щитовая конструкция крыши заменена на кольцевую.

После финальных преобразований и упрощений, модель резервуара будет иметь следующий вид (Рисунок 7).

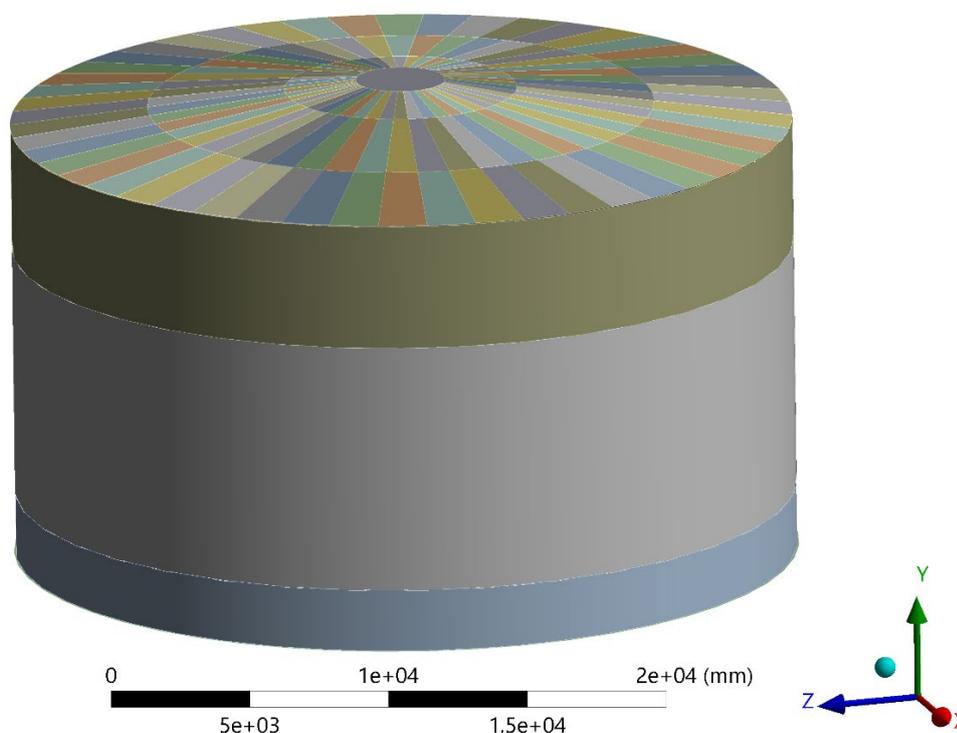


Рисунок 7 – Общий вид геометрической модели после упрощений

					Расчёт напряженно-деформированного состояния резервуара. Конечно-элементная модель РВС-10000 с дефектом геометрии стенки.	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		44

Центральные пояса стенки, объединенные в общий элемент, подвергаются дефекту геометрии стенки – вмятине. Ее формирование выполнено при использовании внутренних инструментов адаптации геометрии ANSYS.

2.5.4 Построение геометрии вмятины на стенке РВС

Для получения наиболее достоверных результатов расчета влияния дефекта геометрии стенки РВС на напряженно-деформированное состояние, моделирование вмятины будем производить непосредственно в Design Modeler. Для этого создаем плоскость на поверхности объединенных ранее 2-5 поясов стенки резервуара. Далее на выбранной плоскости чертим эскиз эллипсоидного вида.

При помощи таких инструментов, как «Extrude», «Boolean», «Slice» и «FBlend» создаем на поверхности стенки РВС новое тело, вытягивая замкнутый эскиз во внутрь резервуара на расстояние 0,2 м, объединяя его с поверхностью стенки, создавая одно общее тело. Проводим скругление кромок поверхности тела потенциальной вмятины, для того чтобы придать визуальную схожесть. «Slice» позволяет разделить тело на несколько частей. Разделение выполнено по внутренней поверхности вытянутого элемента вмятины (Рисунок 8).

					Расчёт напряженно-деформированного состояния резервуара. Конечно-элементная модель РВС-10000 с дефектом геометрии стенки.	Лист
						45
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

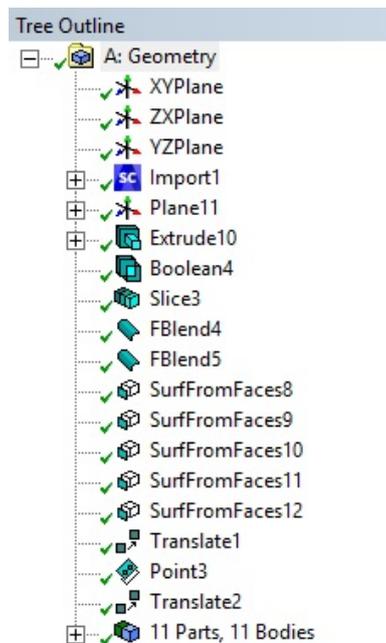


Рисунок 8 – Дерево геометрических построений в модуле Design Modeler

После окончания моделирования дефекта необходимо сгенерировать поверхности на основе 3D граней импортированной модели, уже вместе с дефектом, а сами грани погасить. В Design Modeler имеется набор инструментов для создания 2D–Surface геометрий на основе имеющихся граней элементов. Автоматически 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 днищем.

2.6 Построение конечно-элементной сетки

Сгенерированные поверхности необходимо определить, так как они являются оболочечными элементами, переходим в модуль Mechanical Model и зададим толщины и материал. Данный модуль является оптимальным инструментом для моделирования и настройки конечно-элементных сеток объектов относительно несложных с точки зрения физики решаемой задачи. После того как значения толщин поверхностей заданы, следующим пунктом меню идет выбор материала элементов. По умолчанию всем им присвоен материал Structural Steel. В нашем случае выбираем из библиотеки

					Расчёт напряженно-деформированного состояния резервуара. Конечно-элементная модель РВС-10000 с дефектом геометрии стенки.	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		46

материалов сталь со значениями предела текучести, предела прочности, плотности, модулю упругости и т.д. соответствующими 09Г2С и значениям таблицы 3 соответственно. Также создадим дополнительную контактную группу, в которой запретим контакты типы «поверхность-поверхность» и разрешим контакты типа «линия-линия». Это поможет сгенерировать большее число контактных пар и тем самым повлияет на качество построения конечно-элементной модели и дальнейшего анализа результата расчетов.

Основная идея метода конечных элементов заключается в том, что конструкция разбивается на малые простые геометрические объемы (например, тетраэдры), которые называются конечными элементами и образуют расчетную сетку. Конечно-элементную сетку мы разбиваем в том случае, если нам необходимо вывести на экран численную модель резервуара. К примеру, сетка для центральной части днища, стенки, окрайки, то есть для оболочечных конструкций создается благодаря оболочечным элементам Surface Body. сетка на балочных конструкциях, то есть на линейных объектах создается при помощи балочных элементов «Beam». Стоит отметить, что абсолютно для всех конструкционных элементов резервуара необходимо указать вид конечно элемента, а также установить функцию формы. Конечно-элементная сетка – это основа для автоматизированного создания матрицы системы уравнений, которая производится прямо на геометрической модели. 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. Так же доступны варианты принудительного использования линейный или квадратичных элементов. В автоматическом режиме практически всегда будут использоваться линейные четырехгранные оболочечные 4-х узловые конечные элементы. Результат построения конечно-элементных моделей резервуара с дефектом и без него представлен на рисунке 9, рисунке 10.

					Расчёт напряженно-деформированного состояния резервуара. Конечно-элементная модель РВС-10000 с дефектом геометрии стенки.	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		47

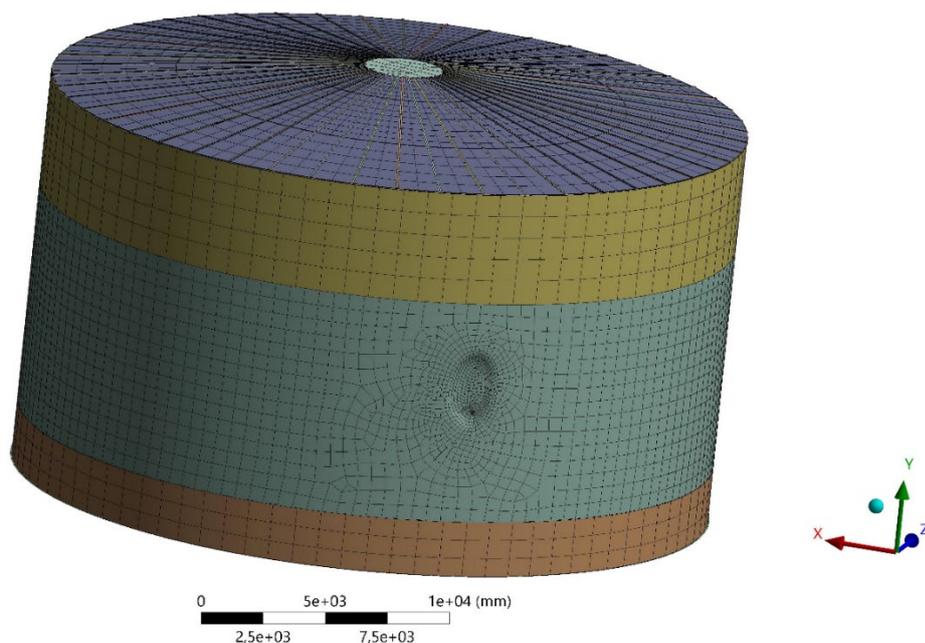


Рисунок 9 – Конечно-элементная модель резервуара с дефектом геометрии
стенки

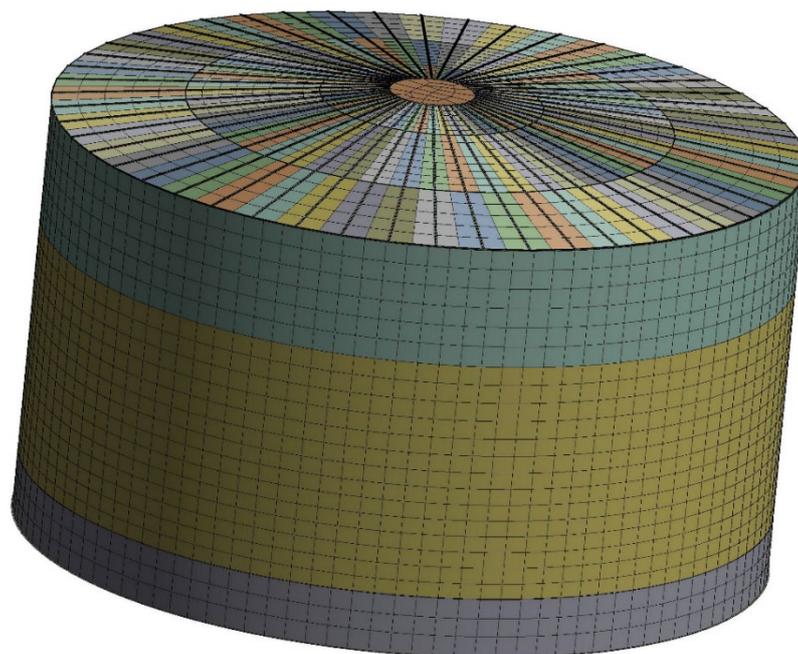


Рисунок 10 – Конечно-элементная модель резервуара без дефектов

Как можно заметить, программа выдала достаточно структурированную конечно-элементную модель, состоящую из линейных квадратичных элементов. В меню генерации сетки можно задать необходимые настройки. Так, например, для увеличения точности расчётов есть смысл загустить сетку на поверхности образовавшегося дефекта.

Сделать это можно, уменьшив размер элементов. Чем меньше размеры КЭ, тем точнее аппроксимация поверхности и результаты анализа НДС стенки резервуара. Другими словами, максимальный размер КЭ определяется необходимой точностью анализа. Максимальный размер конечных элементов для вмятины подобранных габаритов 0,1 м [21, с. 85]. Для всей оставшейся части модели была сгенерирована сетка с размером элемента 0,7 м для получения наиболее адекватного отклика при запуске решения. Для бездефектной модели использовался размер сетки 0,6 м.

2.7 Нагружение и закрепление конструкции резервуара

Конструкция резервуара испытывает на себе различные сочетания нагрузок, основной из которой является вес от хранимой жидкости, в нашем случае это нефтепродукт. Наличие геометрических несовершенств лишь усиливает влияние данных факторов. В соответствии со схемой воздействия на РВС, представленной на рисунке 2 рассмотрим построенные модели под действием реальных нагрузок эксплуатации, таких как гидростатическое давление (плотность нефти 850 кг/м³), давление от снеговой нагрузки на крышу резервуара и ветровое давление на стенку, все приложенные нагрузки приведены на рисунке 11, рисунке 12.

L: Static Structural

Static Structural

Time: 1, s

08.06.2021 2:34

- A** Force: 30000 N
- B** Pressure 2: 2000, Pa
- C** Pressure 3: 2250, Pa
- D** Variable Load: Hydrostatic Pressure
- E** Pressure: 230, Pa
- F** Standard Earth Gravity: 9,8066 m/s²
- G** Frictionless Support
- H** Fixed Support

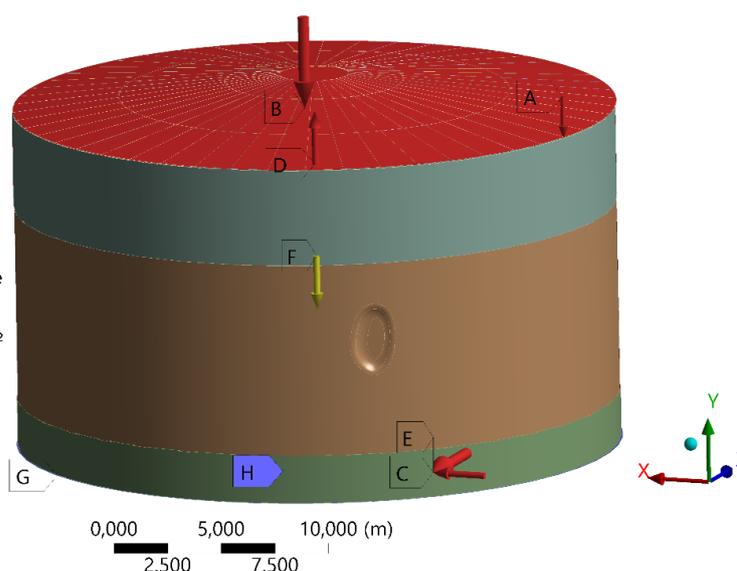


Рисунок 11 – Схема нагрузок и воздействий на резервуар с дефектом

					Расчёт напряженно-деформированного состояния резервуара. Конечно-элементная модель РВС-10000 с дефектом геометрии стенки.	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		49

Значения нагрузок, учитываемых в схеме рассматриваемой модели РВС-10000 для дальнейшей верификации приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Величины основных нагрузок, учитываемых при эксплуатации

№	Параметр	Значение параметра	Единица измерения
1	Ветровое давление	230	Па
2	Давление снежного покрова	2000	Па
3	Стационарное оборудование	30000	Н
4	Гидростатическое давление	плотность	850 кг/м ³
		высота налива	13,2 м
5	Избыточное давление газа	2000	Па
6	Давление вакуума	250	Па

L: Static Structural

Static Structural

Time: 1, s

08.06.2021 4:19

- A** Pressure 2: 2000, Pa
- B** Hydrostatic Pressure: 0, Pa
- C** Pressure: 230, Pa
- D** Force: 30000 N
- E** Standard Earth Gravity: 9,8066 m/s²
- F** Frictionless Support
- G** Pressure 3: 2250, Pa
- H** Fixed Support

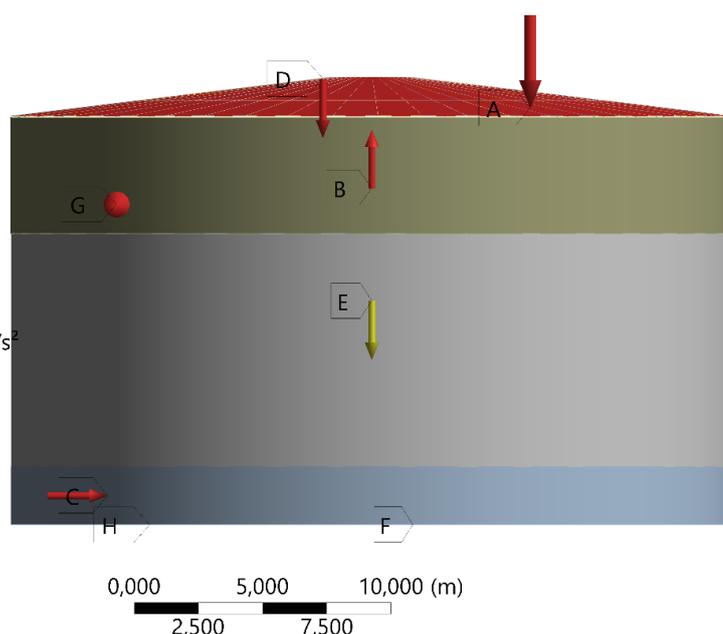


Рисунок 12 – Схема нагрузок и воздействий на резервуар без дефектов

Статический анализ – заключается в вычислении напряжений, перемещений, и деформаций для статического нагружения. Решение статической задачи проводится на конечно-элементной сетке дискретно. Это означает, что в узлах расчетной сетки вычисляются неизвестные перемещения, которые появились в узлах КЭ сетки под действием

постоянной высоты столба нефтепродукта в резервуаре и приложенных внешних сил.

В меню структурного анализа также было принято условие ограничения степеней свободы объекта, а именно жесткой заделки центральной части днища «Fixed support», запрещающей выбранным поверхностям смещение по всем направлениям координат, а также запрет скольжения без трения для кольцевой окрайки «Frictionless support». Разрешено перемещение во всех направлениях за исключением нормали к плоскости закрепления. Запрещается перемещение по нормали к поверхности контакта. Сформированный список нагрузок и закреплений, применяемых к модели, представлен на рисунке 13.

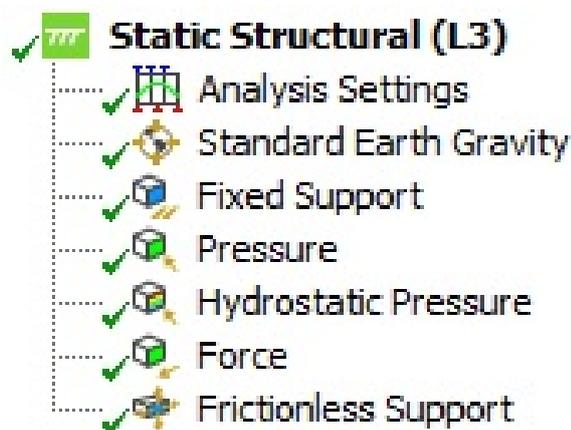


Рисунок 13 – Меню нагрузок и закреплений статического анализа

Отклик конструкции на заданные нагрузки и ограничения степеней свободы выводится в виде перемещений, деформаций, напряжений. Для анализа поведения материала с заданными механическими характеристиками прибегают к введению дополнительного эквивалентного показателя. Эквивалентное напряжение по Мизесу отображает поведение под нагрузкой материала с упругой или пластической моделью деформации. Основываясь в основном на данном показателе, методом сравнительного анализа сможем сделать вывод о возможности продлении срока безопасной эксплуатации объекта. Выбор вывода информации проводится в меню статического анализа Solution.

					Расчёт напряженно-деформированного состояния резервуара. Конечно-элементная модель РВС-10000 с дефектом геометрии стенки.	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		51

2.8 Результаты конечно-элементного анализа

После завершения этапа подготовки конечно-элементных моделей и этапа присвоения их узлам и элементам нагрузок и закрепления, проведем испытание эксплуатационными нагрузками для двух резервуаров объемом 10000 м^3 , различающихся лишь наличием или отсутствием вмятины в стенке.

Из рисунка 14 видно, что безразмерный коэффициент эквивалентной упругой деформации резервуара без дефектов предельно мал, а его наибольшее значение выпадает на область нижнего пояса РВС, который подвержен наибольшим нагрузкам: вес конструкции, давление высоты столба нефтепродукта и т.д.

Максимальное значение коэффициента упругой деформации второй – дефектной модели почти в три раза превышает максимальное значение деформации первой модели и равняется $0,0018$. Максимальная деформация наблюдается в местах перегиба стальной стенки – на краях образования вмятины (Рисунок 15).

При больших деформациях возможно значительное изменение формы конструкции, что ведет к геометрическому несовершенству.

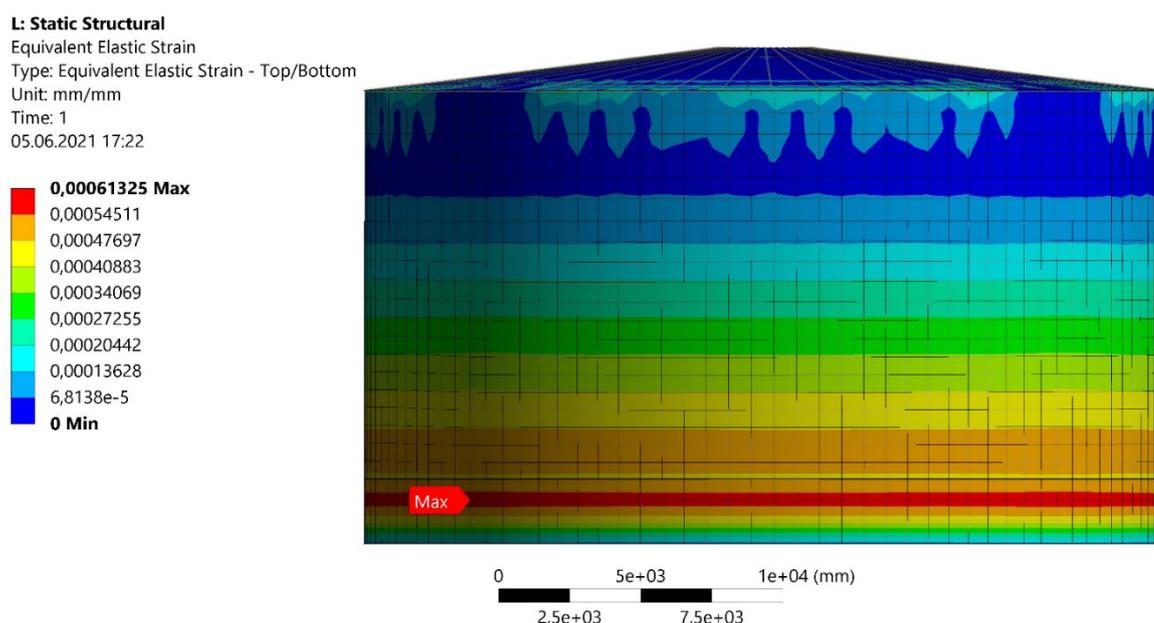


Рисунок 14 – Деформация резервуара

					Расчёт напряженно-деформированного состояния резервуара. Конечно-элементная модель РВС-10000 с дефектом геометрии стенки.	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		52

L: Static Structural
 Equivalent Elastic Strain 2
 Type: Equivalent Elastic Strain - Top/Bottom
 Unit: mm/mm
 Time: 1
 03.06.2021 20:17

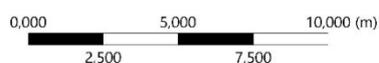
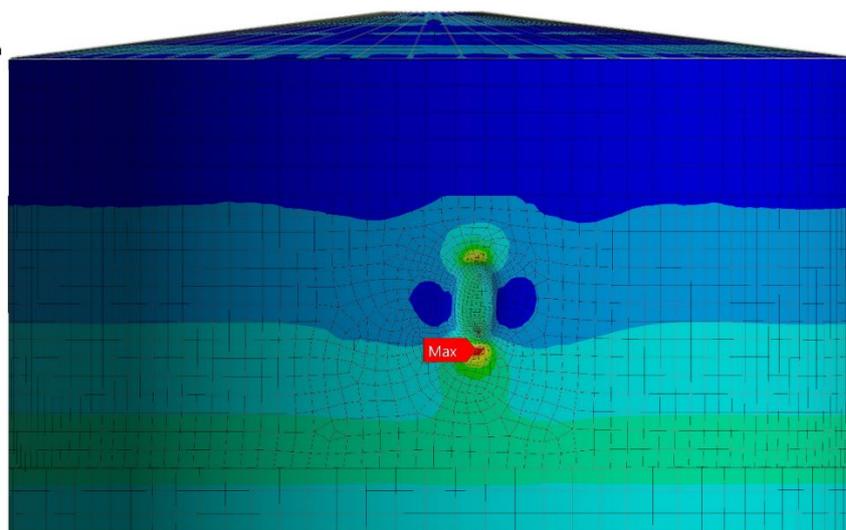
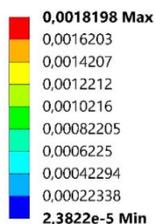


Рисунок 15 – Деформация дефектного резервуара

На рисунке 16 представлена диаграмма распределения общих перемещений в материале элементов резервуара. Допускаемые отклонения формы и размеров стенки определяются в зависимости от диаметра резервуара [21, с. 29]. Из расчета не дефектного резервуара видно, что величина общих перемещений материала стенки не превышает критического значения для РВС с диаметром до 30 м – 0,002г.

Максимальное значение общих перемещений для дефектного резервуара в области возникшей вмятины граничит допустимое значение 0,002г. По этому показателю резервуар не может в полной мере соответствовать критериям безопасной эксплуатации (Рисунок 17).

					Расчёт напряженно-деформированного состояния резервуара. Конечно-элементная модель РВС-10000 с дефектом геометрии стенки.	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		53

L: Static Structural
 Total Deformation
 Type: Total Deformation
 Unit: mm
 Time: 1
 05.06.2021 18:08

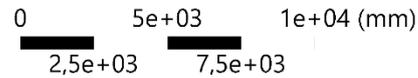
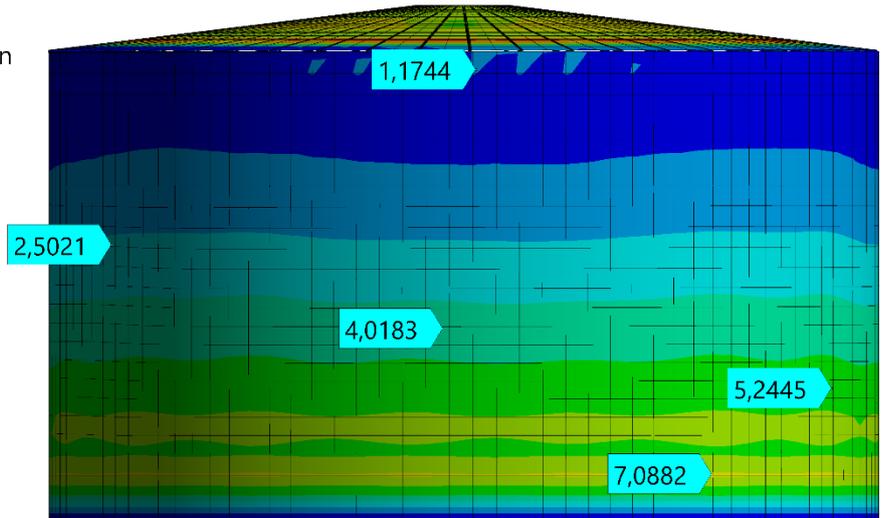
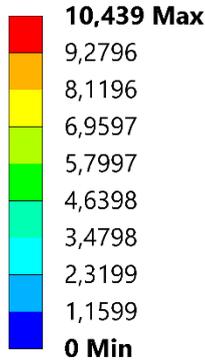


Рисунок 16 – Картина полей общих перемещений бездефектной стенки РВС

L: Static Structural
 Total Deformation 2
 Type: Total Deformation
 Unit: mm
 Time: 1
 05.06.2021 18:41

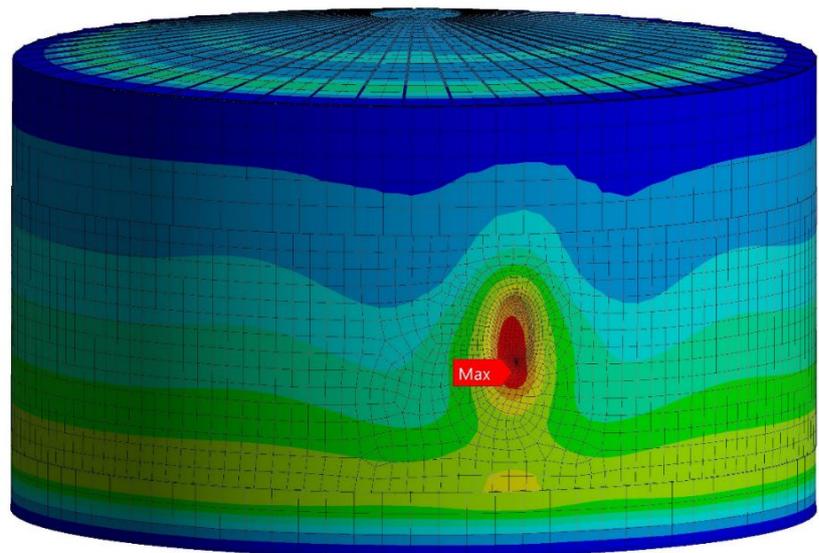
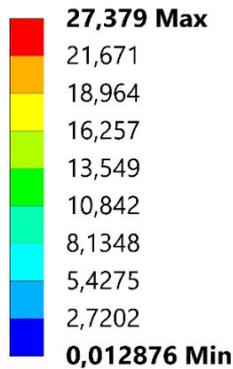


Рисунок 17 – Картина полей общих перемещений дефектной стенки РВС

Большинство конструкционных сталей под нагрузкой подвержены упругим либо пластическим деформациям. Способность материала сопротивляться деформации и разрушению под действием разного рода нагрузок характеризуется механическими свойствами материала. Главенствующим в данном вопросе является параметр класса прочности типа

					Расчёт напряженно-деформированного состояния резервуара. Конечно-элементная модель РВС-10000 с дефектом геометрии стенки.	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		54

используемой стали, по-другому говоря – предел текучести. Влияние упругой деформации полностью устраняется после прекращения действия нагрузок (опорожнение резервуара). В то время, как процесс пластической деформации является необратимым.

Под действием внешних силы и эксплуатационной нагрузки в конструкции появляются внутренние напряжения. Из рисунка 18 видно, что максимальная величина напряжения находится в первом поясе резервуара, так как нижний пояс испытывает максимальное давление, равное весу столба нефтепродукта с проектной высотой налива 13,2 м, и составляет порядка 111 МПа. Напряжение является вполне адекватным, так как допускаемое напряжение для нижнего пояса, составляет 210 МПа, а предел текучести равен 325 МПа, значит резервуар находится в зоне упругих деформаций.

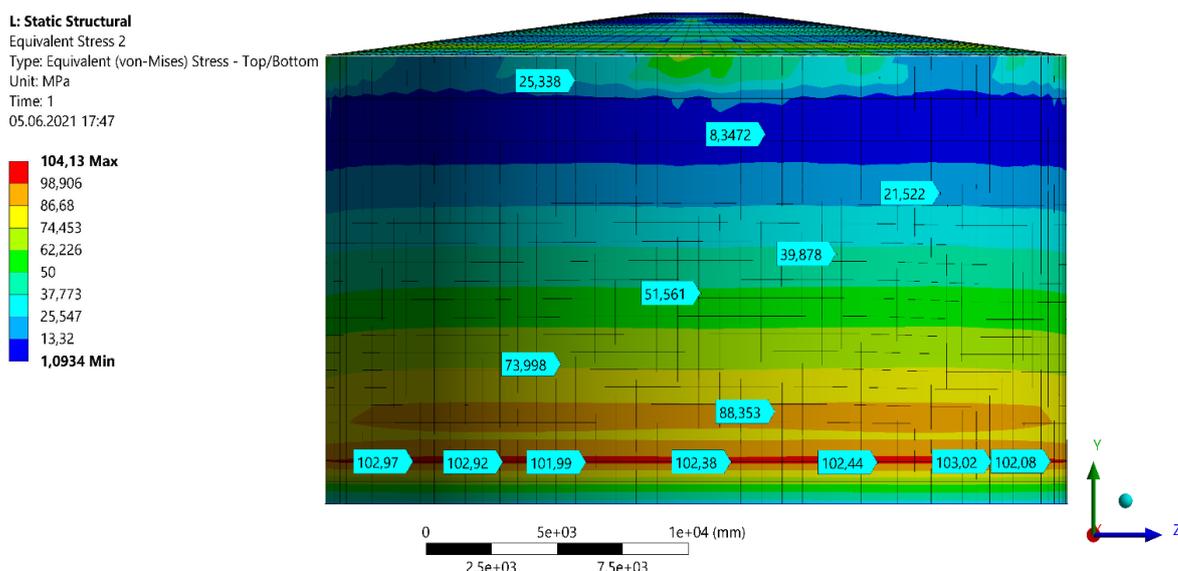


Рисунок 18 – Распределение напряжений по Мизесу для стенки РВС

Что касемо результатов резервуара с дефектами, то можно отметить образование концентратора напряжений (Рисунок 19). Образовавшийся технологический дефект активно влияет на восприятие нагрузок всей конструкцией резервуара и выступает концентратором напряжений. В местах концентрации напряжений максимальное значение параметра превышает значения допускаемого напряжения для пояса заданной толщины 242 МПа. Выявленное максимальное напряжение находится в промежутке между

					Расчёт напряженно-деформированного состояния резервуара. Конечно-элементная модель РВС-10000 с дефектом геометрии стенки.	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		55

значением предела текучести 325 МПа и предела прочности (временное сопротивление разрыву) 450 МПа (Таблица 5). Это означает, что материал в области образования дефекта подвержен пластическим деформациям и склонен к разрушению, а безопасная эксплуатация объекта с выявленным дефектом невозможна.

L: Static Structural

Equivalent Stress 3

Type: Equivalent (von-Mises) Stress - Top/Bottom

Unit: MPa

Time: 1

05.06.2021 16:26

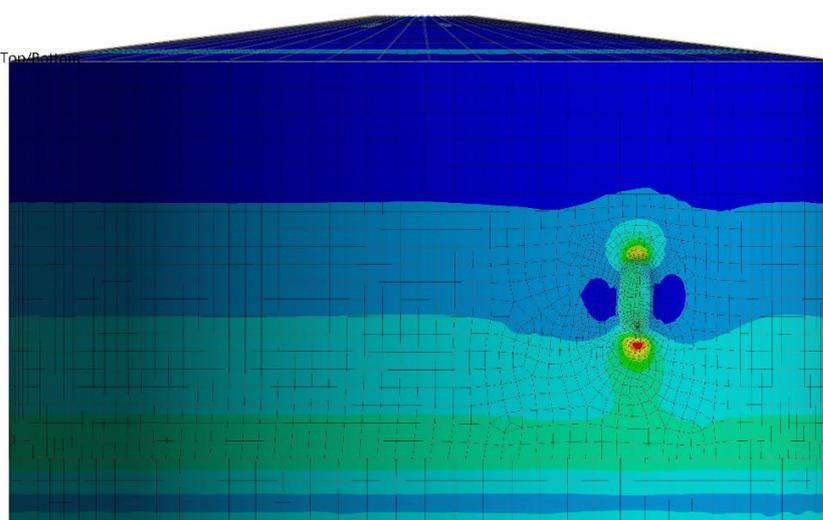
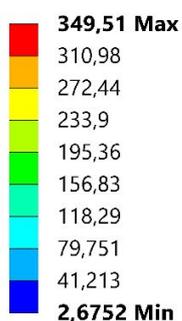


Рисунок 19 – Распределение напряжений по Мизесу для стенки РВС с вмятиной

Таблица 5 – Анализ результатов исследования НДС резервуара

	Допускаемое напряжение	Предел текучести	Предел прочности	Максимальное эквивалентное напряжение по Мизесу
РВС с вмятиной	242 МПа	325 МПа	450 МПа	349,51 МПа
РВС-10000				104,13 МПа

2.9 Аналитических расчет на прочность пояса стенки резервуара

Для подтверждения степени достоверности выполнения расчетов показателей напряженно-деформированного состояния резервуара вертикального стального с заданными характеристиками в базовой учебной версии программного комплекса ANSYS методом конечных элементов, проведем локальный аналитический расчет на прочность для первого пояса

стенки резервуара. Проверочный расчет на прочность для любого пояса стенки резервуара осуществляется в соответствии с [20, с. 131], по формуле:

$$\sigma_1 = \sqrt{\sigma_M^2 - \sigma_K \cdot \sigma_M + \sigma_K^2} \leq R_1, \quad (4)$$

где σ_1 – интенсивность напряжений для первого пояса стенки, МПа;

σ_M – меридиональное напряжение, МПа;

σ_K – кольцевое напряжение, МПа;

R_1 – допускаемое напряжение для первого пояса при толщине листов стенки 14 мм, $R_1 = 210$ МПа.

Рассчитаем кольцевое напряжение для первого пояса стенки резервуара:

$$\sigma_K = [0,001 \cdot \rho \cdot g \cdot (H_{взл} - x_1) + 1,2 \cdot P_{изб}] \cdot \frac{r}{t_1}, \quad (5)$$

где ρ – плотность нефти, равная $\rho = 850$ кг/м³;

$H_{взл}$ – высота налива нефти, $H_{взл} = 13,2$ м;

x_1 – расстояние от днища до середины 1-го пояса резервуара, $x_1 = 1,145$ м;

$P_{изб}$ – избыточное давление в газовом пространстве РВС, $P_{изб} = 2000$ Па [19, с. 83];

r – радиус резервуара, $r = 14,095$ м;

t_1 – толщина 1-го пояса, $t_1 = 0,014$ м.

$$\begin{aligned} \sigma_{K1} &= [0,001 \cdot 0,85 \cdot 9,81 \cdot (13,2 - 1,145) + 1,2 \cdot 2000] \cdot \frac{14,095}{0,014} \\ &= 109,62 \text{ МПа.} \end{aligned}$$

Меридиональное напряжение σ_M , в 1-ом поясе стенки резервуара со стационарной каркасной крышей определяется по формуле:

$$\sigma_M = \frac{1,05 \cdot G_M + 1,05 \cdot \psi_1 \cdot G_0}{2 \cdot \pi \cdot r \cdot t_1} + \frac{1,4 \cdot c_e \cdot p_{сн} + 1,2 \cdot \psi_2 \cdot P_{вак}}{t_1} \cdot \frac{r}{2}, \quad (6)$$

где G_M – вес металлоконструкций выше расчетной точки, Н;

G_0 – вес стационарного оборудования выше расчетной точки, 30000 Н;

c_e – коэффициент, учитывающий снос снега с крыши диаметром менее 60 м под действием ветра или иных факторов, равный 0,85 [22, с. 26];

					Расчёт напряженно-деформированного состояния резервуара. Конечно-элементная модель РВС-10000 с дефектом геометрии стенки.	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		57

$P_{\text{вак}}$ – нормативное значение вакуума РВС, $P_{\text{вак}} = 250$ Па [19, с. 83];

$P_{\text{сн}}$ – снеговая нагрузка на поверхности земли, 2000 Па;

ψ_1, ψ_2 – коэффициенты сочетаний нагрузок соответственно для длительных и кратковременных нагрузок, равные 1,0 и 0,7 соответственно [22, с. 6].

Вес металлоконструкций, действующий на нижний пояс стенки РВС складывается из усилий массы щитовой крыши и верхних поясов резервуара.

$$G_{\text{кр}} = 1035 \cdot 50 \cdot 9,81 = 507,7 \text{ кН.}$$

$$G_{\text{п}} = \sum N \cdot 2 \cdot \pi \cdot r \cdot h \cdot t_i \cdot \rho_{\text{ст}} \cdot g \quad (7)$$

$$G_{\text{п}} = 4 \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot 14,095 \cdot 2,29 \cdot 0,012 \cdot 7850 \cdot 9,81 + 2 \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot 14,095 \cdot 2,29 \cdot 0,008 \cdot 7850 \cdot 9,81 = 999 \text{ кН.}$$

$$G_{\text{м}} = 507,7 + 999 = 1,507 \text{ МН.}$$

$$\sigma_{\text{м1}} = \frac{1,05 \cdot 1,507 + 1,05 \cdot 1 \cdot 0,03}{2 \cdot 3,14 \cdot 14,095 \cdot 0,014} + \frac{1,4 \cdot 0,85 \cdot 0,002 + 1,2 \cdot 0,7 \cdot 0,00025}{0,014} \cdot \frac{14,095}{2} = 16 \text{ МПа.}$$

$$\sigma_1 = \sqrt{16^2 - 109,62 \cdot 16 + 109,62^2};$$

$$102,5 \leq 210 \text{ МПа}$$

$$\sigma_1 = 102,5 \text{ МПа}$$

Интенсивность напряжений для нижнего пояса стенки резервуара без дефектов, согласно аналитическому прочностному расчету, равна 102,5 МПа.

Для определения степени достоверности результатов определения напряженно-деформированного состояния резервуара, полученных путем численного анализа методом конечных элементов в системе ANSYS, проведено сравнение значений интенсивности напряжений для нижнего пояса стенки модели резервуара без дефектов с результатами аналитического прочностного расчета, полученными в п.2.8.

					Расчёт напряженно-деформированного состояния резервуара. Конечно-элементная модель РВС-10000 с дефектом геометрии стенки.	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		58

В соответствии с диаграммой распределения напряжений (Рисунок 18), эквивалентные напряжения по Мизесу в заданной области колеблются в диапазоне от 101,99 до 104,13 МПа. Согласно проверочному аналитическому расчету, интенсивность напряжений в первом поясе стенки резервуара на высоте 1,145 м от днища резервуара равна 102,5 МПа.

В таблице 6 приведены результаты сравнительного анализа достоверности проведенных расчетов.

Таблица 6 – Проверка достоверности показателей МКЭ

	Выборка значений эквивалентных напряжений по Мизесу на заданной высоте, МПа				Интенсивность напряжений по аналитическому расчету, МПа	Относительное отклонение, %
Первый пояс (1,145 м от уторного шва)	104,13	101,99	103,02	102,44	102,5	0,39

Как видно из таблицы 6, относительное отклонение численных и аналитических решений не превышает 0,4 %. Таким образом, достоверность выбранного метода расчета НДС подтверждена.

3 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Инфраструктура нефтегазовых предприятий включает в себя множество дорогостоящих компонентов, что требует многофакторного и комплексного подхода при проектировании и эксплуатации. Опыт длительной эксплуатации вертикальных стальных резервуаров показывает, что вследствие различного рода воздействий они являются подверженными разрушениям с последующим возникновением аварийных и чрезвычайных ситуаций, проливам нефти и пожарам. В системе трубопроводного транспорта более 3000 РВС находятся в эксплуатации более 50 лет, свыше 1000 РВС - от 40 до 50 лет. Экономически выгодная эксплуатация резервуара не может быть обеспечена без должного наблюдения за техническим состоянием и своевременным устранением неполадок. Нарушение прочности и герметичности в резервуарах в большинстве случаев вызывается совокупностью различных неблагоприятных воздействий на конструкции. Элементы резервуара в эксплуатационных условиях испытывают значительные быстроменяющиеся температурные режимы, повышение давления, вакуум, вибрацию, неравномерные осадки и коррозию. Практически каждый из резервуаров представляет собой объект повышенной опасности для персонала предприятия, населения, соседних сооружений и окружающей среды. Для современной техники и науки необходим точный прогноз технологических процессов, натурные исследования которых очень дороги и сложны, а иногда и просто невозможны. Моделирование позволяет исключить сложные и дорогостоящие эксперименты для исследования.

					Анализ влияния дефектов геометрии стенки РВС на его напряженно-деформированное состояние при эксплуатации			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				
<i>Разраб.</i>		Калинин А.А.			Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Руковод.</i>		Валитова Е.Ю.					60	96
<i>Консульт.</i>						Отделение нефтегазового дела Группа 2Б7Б		
<i>Рук-ль ООП</i>		Брусник О.В.						

3.1. Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

3.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Потенциальными потребителями проводимого исследования являются резервуарные парки для временного хранения нефти и нефтепродуктов в системе добычи, транспорта, переработки нефти и распределения нефтепродуктов. Для обеспечения безопасности и надежности трубопроводов реализуется ряд специальных технических программ по диагностике и расчёту объектов трубопроводного транспорта. Потенциальными потребителя услуг диагностирования трубопроводов, являются нефтегазодобывающие и нефтегазоперерабатывающие объекты.

3.1.2 Анализ конкурентных решений

Рынки пребывают в постоянном движении. Следовательно, необходим детальный анализ конкурирующих разработок. Изучение уже существующих на рынке.

АО «Транснефть - Диаскан» проводит диагностику промышленного оборудования, а также ремонт дефектов по ее результатам. «Диаскан» представляет большой интерес, для организаций, работающих в нефтяной отрасли. АО «Транснефть - Диаскан» проводит диагностику РВС с помощью ВИП собственного производства, принцип работы которых основан на различных методах неразрушающего контроля. Используемые дефектоскопы не имеют аналогов в мире. ООО НТЦ «Нефтегаздиагностика» проводит не только внутритрубную инспекцию оборудования, но и их ремонт, а также техническое диагностирование, неразрушающий контроль и экспертизу промышленной безопасности опасных производственных объектов.

Данные компании были выбраны для сравнения по причине высокого качества выполняемой диагностики, Сравнительная таблица

					Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		61

конкурирующих технических решений представлена в таблице №7, где оценка технологий проведена по пятибалльной шкале: 1 –слабая позиция, 5 – сильная.

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum Vi \cdot Bi, \quad (8)$$

где K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

Vi – вес показателя (в долях единицы);

Bi – балл i -го показателя для своей разработки или конкурентов.

Таблица 7 – Сравнение конкурирующих технических решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б	Бк1	Бк2	К	Кк1	Кк2
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
Современная элементная база	0,10	5	4	5	0,50	0,40	0,50
Долговечность	0,11	5	4	5	0,55	0,44	0,55
Надежность	0,10	5	4	5	0,50	0,40	0,50
Безопасность	0,08	5	4	5	0,40	0,32	0,40
Простота эксплуатации	0,08	5	4	4	0,40	0,32	0,32
Точность измерений	0,09	5	4	5	0,45	0,36	0,45
Быстродействие	0,09	5	4	4	0,45	0,36	0,36
Экономические критерии оценки эффективности							
Цена	0,10	5	5	4	0,50	0,50	0,40
Проектный срок эксплуатации	0,10	5	5	4	0,50	0,50	0,40
Доступность	0,07	5	5	5	0,35	0,35	0,35
Конкурентоспособность	0,08	4	4	4	0,32	0,32	0,32
Итого	1	52	48	50	4,82	4,32	4,55

Коэффициент конкурентоспособности:

$$K_k = \frac{K}{K_{\text{ксп}}} = \frac{4,82}{(4,32+4,55)/2} = 1,09 \quad (9)$$

$K_k > 1$, следовательно, предприятие конкурентоспособно. По результатам таблицы можно сделать вывод, что исследование конкурентоспособно по сравнению с другими уже действующими предприятиями, основывающихся на анализе надежности резервуаров.

Наибольшими преимуществами являются долговечность, надежность и точность измерения, это благодаря применению современного оборудования.

3.1.3 SWOT-анализ

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

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

Результаты первого этапа SWOT – анализа:

1. Сильные стороны проекта:

- Высокая экономичность технологии;
- Экологичность и безопасность работ, прогнозирование чрезвычайных аварий, утечек;
- Сокращение затрат на преждевременный ремонт оборудования.

2. Слабые стороны проекта:

- Трудность внедрения на предприятии;
- Отсутствие на предприятии подготовленных кадров, способных произвести внедрение функции программного обеспечения прогнозирования надежности резервуаров.

3. Возможности:

- Повышение эффективности работы предприятия за счет модернизации;
- Снижение аварийности работы производства;
- Качественное обслуживание потребителей;

					Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		63

– Нормирование времени вывода в ремонт тех или иных дефектных резервуаров.

4. Угрозы проекта:

– Отсутствие спроса на производстве;

– Снижение бюджета на разработку.

После того как сформулированы четыре области SWOT переходим к реализации второго этапа. Второй этап состоит в выявлении соответствия сильных и слабых сторон научно-исследовательского проекта внешним условиям окружающей среды. Это соответствие или несоответствие должны помочь выявить степень необходимости проведения стратегических изменений. Интерактивная матрица проекта представлена в таблице 8, таблице 9, таблице 10, таблице 11.

Таблица 8 – Интерактивная матрица возможностей и сильных сторон

Сильные стороны разработки				
Возможности разработки		C1	C2	C3
	B1	+	+	0
	B2	–	+	–
	B3	0	0	-
	B4	+	0	+

Проведя анализ этой интерактивной матрицы можно выделить следующие сильно коррелирующие возможности и сильные стороны проекта: B1C1C2, B2C2, B4C1C3.

Таблица 9 – Интерактивная матрица возможностей и слабых сторон

Слабые стороны разработки			
Возможности разработки		Сл1	Сл2
	B1	+	+
	B2	–	0
	B3	+	–
	B4	–	–

Проведя анализ этой интерактивной матрицы можно выделить следующие сильно коррелирующие возможности и слабые стороны проекта: В1Сл1Сл2, В3Сл1.

Таблица 10 – Интерактивная матрица угроз и сильных сторон

Сильные стороны разработки				
Угрозы разработки		С1	С2	С3
	У1	+	–	0
	У2	–	–	+

Проведя анализ этой интерактивной матрицы можно выделить следующие сильно коррелирующие угрозы и сильные стороны проекта: У1С1, У2С3.

Таблица 11 – Интерактивная матрица угроз и слабых сторон

Слабые стороны разработки			
Угрозы разработки		Сл1	Сл2
	У1	+	0
	У2	–	–

Проведя анализ этой интерактивной матрицы можно выделить следующие сильно коррелирующие угрозы и слабые стороны проекта: У1Сл1.

В рамках третьего этапа должна быть составлена итоговая матрица SWAT (Таблица 12).

Таблица 12 – Матрица SWOT

		Сильные стороны	Слабые стороны
		<p>С1. Высокая экономичность технологии;</p> <p>С2. Экологичность и безопасность работ, прогнозирование чрезвычайных аварий, утечек;</p> <p>С3. Сокращение затрат на преждевременный ремонт оборудования.</p>	<p>Сл1. Трудность внедрения на предприятии;</p> <p>Сл2. Отсутствие на предприятии подготовленных кадров, способных произвести внедрение функции программного обеспечения прогнозирования надежности резервуаров.</p>
Возможности	<p>В1. Повышение эффективности работы предприятия за счет модернизации;</p> <p>В2. Снижение аварийности работы производства;</p> <p>В3. Качественное обслуживание потребителей;</p> <p>В4. Нормирование времени вывода в ремонт тех или иных дефектных резервуаров.</p>	<p>1. Достижение бесперебойности работы резервуарного парка;</p> <p>2. Своевременная поставка нефти потребителям;</p> <p>3. Повышения уровня конкурентоспособности за счет применения новых технологий.</p>	<p>1. Поиск заинтересованных лиц;</p> <p>2. Разработка научного исследования;</p> <p>3. Принятие на работу квалифицированного специалиста;</p> <p>4. Переподготовка имеющихся специалистов.</p>
	<p>У1. Отсутствие спроса на производстве;</p> <p>У2. Снижение бюджета на разработку.</p>	<p>1. Отсутствие спроса на новые технологии производства;</p> <p>2. Недостаток финансирования, повлияет на качество выполнения исследования напряженно-деформированного состояния резервуаров.</p>	<p>1. Приобретение необходимого оборудования;</p> <p>2. Невозможность одновременного анализа всего резервуарного парка;</p> <p>3. Проведения других проектов.</p>

Анализируя результаты SWOT-анализа, можно утверждать, что реализация представленных возможностей позволяет выгодно реализовать сильные стороны и уменьшить влияние слабых. Продукт реализации имеет определенные преимущества при выходе на рынок.

3.2 Планирование научно-исследовательских работ

3.2.1 Структура работ в рамках научного исследования

Перед началом проекта необходимо провести планирование этапов работы. Так же необходимо указать продолжительность выполнения каждого этапа и обозначить занятость каждого участника, данный перечень представлен в таблице № 13.

Таблица 13 – Перечень этапов, работ и распределение обязанностей

№ п/п	Основные этапы	Содержание работ	Исполнитель
1	Выбор темы исследования	Выбор направления исследования и научного руководителя	Исполнитель
2		Календарное планирование работ по теме	Руководитель, исполнитель
3		Выбор алгоритма исследований	Руководитель
4	Разработка тех. задания	Составление и утверждение тех. задания	Руководитель
5	Теоретические и экспериментальные исследования	Подбор и изучение материалов по теме	Исполнитель
6		Проектирование модели и проведение расчетов	Исполнитель
7	Обобщение и оценка результатов	Оценка результатов исследования	Руководитель, исполнитель
8	Оформление отчета по работе	Выполнение дополнительных разделов ВКР и составление пояснительной записки	Руководитель, исполнитель

3.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ

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

$$t_{ож.i} = \frac{3t_{min.i} + 2t_{max.i}}{5}, \quad (10)$$

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

$t_{\min.i}$ – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы, чел.-дн.;

$t_{\max.i}$ – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы, чел.-дн.

3.2.3 Разработка графика проведения научного исследования

Для построения графика проведения научных работ в форме диаграммы Ганта (таблица 15) длительность каждого из этапов работ в рабочих днях переводится в календарные дни по формуле:

$$T_{\text{КД}} = T_{\text{РД}} \cdot K_{\text{КД}}, \quad (11)$$

где $T_{\text{КД}}$ – продолжительность выполнения работы в календарных днях;

$T_{\text{РД}}$ – продолжительность выполнения работы в рабочих днях;

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

Коэффициент календарности рассчитывается по формуле:

$$K_{\text{КД}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}}, \quad (12)$$

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

$T_{\text{вых}} - 108$ – количество выходных дней в году;

$T_{\text{пр}} - 14$ – количество праздничных дней в году.

Значение коэффициента календарности для 2021 года с учетом изменений:

$$K_{\text{КД}} = \frac{365}{365 - 118} = 1,50$$

Все найденные значения сводим в таблицу 14.

					Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		68

Таблица 14 – Временные показатели выполнения исследования

Вид работ	Трудоемкость работ			Исполнители	Продолжительность работ в рабочих днях T_{pi}	Продолжительность работ в календарных днях T_{ki}
	t_{min} , чел-дни	t_{max} , чел-дни	$t_{ож}$, чел-дни			
Выбор направления исследования и научного руководителя	2	3	2	Исполнитель	2	3
Календарное планирование работ по теме	3	6	4	Руководитель, исполнитель	3	5
Составление и утверждение тех. задания, постановка целей	1	3	2	Руководитель	2	3
Подбор и изучение материалов по теме	10	15	12	Исполнитель	12	16
Согласование материалов по теме	5	8	6	Руководитель	6	8
Проектирование модели РВС и проведение расчетов	6	20	14	Руководитель, исполнитель	16	21
Оценка результатов исследования	3	5	4	Руководитель, исполнитель	2	3
Выполнение дополнительных разделов ВКР и составление пояснительной записки	8	18	12	Руководитель, исполнитель	11	17

На основе таблицы 14 построим диаграмму Ганта, представленную в таблице 15.

Таблица 15 – Диаграмма Ганта

Вид работ	Исполнители	Тк раб. дн.	Продолжительность выполнения работ																
			Февраль				Март				Апрель				Май				
			1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	
Выбор научного руководителя ВКР	Исполнитель	1																	
Выбор и утверждение темы	Руководитель	2																	
	Исполнитель																		
Постановка цели и задач исследования, актуальность	Руководитель	8																	
	Исполнитель																		
Обзор литературы	Исполнитель	16																	
Расчетная часть	Руководитель	21																	
	Исполнитель																		
Согласование выполненной работы с научным руководителем	Руководитель	8																	
	Исполнитель																		
Анализ результатов	Исполнитель	3																	
Выполнение дополнительных разделов ВКР (финансовый менеджмент, социальная ответственность)	Исполнитель	7																	
Оформление пояснительной записки	Руководитель	10																	
	Исполнитель																		

После составления календарного плана-графика проведения ВКР определили последовательность и сроки выполнения отдельных работ. Исходя из диаграммы, можно сделать вывод, что продолжительность выполнения проекта составляет 76 дней.

3.3 Бюджет научно-технического исследования

Планирование бюджета позволяет оценить затраты на проведение исследования до его фактического начала и позволяет судить об экономической эффективности работы. В данном разделе рассчитываются следующие статьи расходов:

- Материальные затраты НТИ;
- Расчет амортизационных отчислений

- Основная заработная плата исполнителей темы;
- Дополнительная заработная плата исполнителей темы;
- Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- Накладные расходы.

3.3.1 Расчёт материальных затрат

Для проведения исследования напряженно-деформированного состояния резервуара вертикального стального, подверженного дефектам воспользуемся стандартизированными данными для построения модели типичного резервуара. Для сборки 3D-модели и проведения комплексных расчетов надежности необходим компьютер с программным обеспечением Microsoft Office, SolidWorks, Ansys Workbench. Затраты на материальные расходы для составления заключения надежности исследуемого объекта и составление акта нормирования дефектов геометрии на поверхности стенки РВС включают в себя канцелярские принадлежности, бумага, интернет, за исключением тех случаев, когда работа ведется в библиотеке либо в корпусе с научным руководителем. В материальные затраты так же входит транспортно-заготовительные расходы. Предприятиям, заинтересованным в проведение подобных численных расчетов надежности резервуаров из их резервуарных парков, для получения натуральных данных о фактическом положении и истинной геометрии, потребуются заключить договор подряда с компанией, занимающейся наземным лазерным сканированием, либо нанять в свой штаб специалистов по данному вопросу и приобрести необходимое оборудование. Материальные затраты принимаются в размере 1500 рублей на канцелярские товары необходимые для выполнения работы.

$$Z_{\text{МАТ}} = 1500 \text{ руб.}$$

					Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		71

3.3.2 Расчёт амортизационных отчислений

Процесс написания выпускной квалификационной работы согласно плану занимает 76 дней. Для проведения расчетов используется персональный компьютер с первоначальной стоимостью 50000 рублей, срок полезного пользования для офисной техники составляет от 3 до 4 лет. Амортизация программ, используемых для моделирования не вычисляется, так как в целях экономии средств будет использоваться удаленный доступ, содержащий в себе полный пакет программ необходимых для моделирования и проведения расчётных работ.

Норма амортизации оборудования:

$$A_H = \frac{1}{T} \cdot 100\%, \quad (13)$$

где T – срок полезного использования оборудования, лет.

Принимаем срок полезного пользования 3 года.

$$A_H = \frac{1}{3} \cdot 100\% = 33,3\%$$

Годовая амортизация оборудования:

$$A_G = 50000 \cdot 33,3 = 16500 \text{ руб.}$$

Ежемесячная амортизация оборудования:

$$A_M = \frac{16500}{12} = 1375 \text{ руб.}$$

Итоговая сумма амортизации основных средств:

$$A = \frac{1375 \cdot 76}{30} = 3483,33 \text{ руб.}$$

3.3.3 Заработная плата исполнителей

За основу оклада берется ставка работника ТПУ, согласно занимаемой должности. Из таблицы окладов для доцента (степень – кандидат наук) – 23264 руб., для ассистента (степень отсутствует) – 14584 руб. Исходя из среднего количества рабочих дней в месяце, равным 21, средняя заработная плата руководителя составила 1107,81 руб. в день, а для инженера 694,48 руб.

					Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		72

в день. Заработная плата складывается из основной и дополнительной оплаты. Основная заработная плата рассчитывается:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_{\text{р}} \cdot (1 + K_{\text{пр}} + K_{\text{д}}) \cdot K_{\text{р}}, \quad (14)$$

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

$K_{\text{пр}}$ – премиальный коэффициент (0,3);

$K_{\text{д}}$ – коэффициент доплат и надбавок (0,2-0,5);

$K_{\text{р}}$ – районный коэффициент (для Томска 1,3);

$T_{\text{р}}$ – продолжительность работ, выполняемых работником, раб. дни.

Таблица 16 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Исполнитель
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней (выходные/ праздничные)	66	118
Потери рабочего времени	70	42
- отпуск	56	28
- невыходы по болезни	14	14
Действительный годовой фонд рабочего времени	229	205

Расчет основной заработной платы приведен в таблице № 17.

Таблица 17 – Расчет основной заработной платы

Исполнители	$Z_{\text{тс}}$, руб.	$K_{\text{пр}}$	$K_{\text{д}}$	$K_{\text{р}}$	$T_{\text{р}}$, раб. дней	$Z_{\text{осн}}$, руб.
Руководитель	23264	0,3	0,2	1,3	36	77768,26
Исполнитель	14584	0,3	0,2	1,3	50	67711,80
Итого						145480,06

ТК РФ предусматривает гарантированные дополнительные выплаты для работников за работу условия которой отклоняются от нормальных условий труда.

Рассчитаем их по формуле:

$$Z_{\text{доп}} = Z_{\text{осн}} \cdot K_{\text{доп}}, \quad (15)$$

где $K_{\text{доп}}$ – коэффициент дополнительной з/п (принимается = 0,12 – 0,15).

Таблица 18 – Расчет дополнительной заработной платы

Исполнители	Кдоп	Зосн, руб.	Здоп, руб.
Руководитель	0,14	77768,26	10887,56
Инженер	0,14	67711,80	9479,65
Итого		145480,06	20367,21

3.3.4 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

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

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$Z_{\text{ВНЕБ}} = K_{\text{ВНЕБ}} \cdot (Z_{\text{ОСН}} + Z_{\text{ДОП}}), \quad (16)$$

где $K_{\text{ВНЕБ}}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды ($K_{\text{ВНЕБ}} = 0,302$ (30,2%)).

Таблица 19 – Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнители	$K_{\text{ВНЕБ}}$	Зосн, руб.	Здоп, руб.	$Z_{\text{ВНЕБ}}$, руб.
Руководитель	0,302	77768,26	10887,56	26774,12
Исполнитель	0,302	67711,80	9479,65	23311,68
Итого				50085,80

3.3.5 Накладные расходы

Накладные расходы – издержки предприятия, возникающие дополнительно к основным затратам по производству и реализации продукции, работ, услуг.

Накладные расходы рассчитываются:

$$\begin{aligned}
 Z_{\text{НАКЛ}} &= 0,16 \cdot (Z_{\text{МАТ}} + Z_{\text{АМОР}} + Z_{\text{ОСН}} + Z_{\text{ДОП}} + Z_{\text{ВНЕБ}}) \\
 &= 0,16 \cdot (1500 + 3483 + 145480 + 20367 + 50085,80) \\
 &= 43360,13 \text{ руб.}
 \end{aligned}$$

Рассчитанная величина затрат научно-исследовательской работы является основной для формирования бюджета затрат. В таблице № 20 представлен расчет бюджета научно-исследовательской работы. Общие затраты на реализацию исследования составят 264276,53 рублей.

Таблица 20 – Расчет бюджета затрат НИИ

№	Элементы затрат	Стоимость, руб.	Удельный вес, %
1	Материальные затраты	1500,00	0,56
2	Амортизационные отчисления	3483,33	1,39
3	Основная заработная плата	145480,06	58,15
4	Дополнительная заработная плата	20367,21	8,14
5	Отчисления во внебюджетные фонды	50085,80	17,96
6	Накладные расходы	43360,13	13,80
Итого		264276,53	100,00

3.4 Определение ресурсной, финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования

3.4.1 Определение ресурсоэффективности проекта

Эффективность автоматизированных систем мониторинга зависит от сравнения результатов функционирования оборудования и затрат всех видов ресурсов, необходимых на её создание и развитие.

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Его нахождение связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности. Так как определение финансовой эффективности не представляется возможным в данном случае, произведем оценку ресурсоэффективности научного исследования.

Сравнение использованного метода было произведено с двумя ближайшими аналогами: АО «Транснефть – Диаскан» и ООО НТЦ «Нефтегаздиагностика», использующими методы моделирования в программах-близнецах ANSYS и методы лазерного сканирования, для определения остаточного ресурса и надежности опасных производственных объектов, в нашем случае – резервуаров типа РВС. Аналог №1 использует весь пакет программ SolidWorks, который не позволяет в полной мере построить максимально точную конечно-элементную сетку для определения показателей надежности. Аналог №2 для построения модели использует российскую систему автоматизированного проектирования КОМПАС-3D, а для решения модели ту же программу что и мы – ANSYS.

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

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i, \quad (17)$$

где I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности для i -го варианта;

a_i – весовой коэффициент i -го варианта;

b_i – балльная оценка i -го варианта, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

n – число параметров сравнения.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности представлены в форме таблицы.

Таблица 21 – Оценка ресурсной эффективности НИ

Критерии \ Объект Исс-ия	Весовой коэффициент параметра	Используемый метод	Аналог №1	Аналог №2
Задание параметров материалов	0,139	4	4	4
Задание параметров физики	0,184	4	5	4
Наложение сетки	0,158	5	4	5
Создание геометрии	0,186	5	3	3

Решение модели	0,222	4	3	4
Постобработка результатов	0,111	5	4	4
Итого	1	4,5	3,83	4,0

Численный расчет надежности резервуаров для хранения нефти и нефтепродуктов имеет несколько вариаций, в нашем случае выбрано исполнение: наземное лазерное сканирование объекта и обработка данных в по ANSYS Workbench. С точки зрения ресурсной эффективности, для решения поставленной в выпускной работе технической задачи был выбран наиболее подходящий и выгодный вариант, так как именно он имеет наибольший интегральный показатель ресурсоэффективности.

Вывод по разделу:

В данной главе была определена трудоемкость работ участников и построен линейный график их работ. Продолжительность выполнения работ составила 76 дней. По данному графику можно судить о времени, затраченном на каждый из этапов проекта, вкладе каждого из участников и длительности исполнения работ. В целях экономической оценки проекта составлен сводный сметный расчет, который представляет собой сумму основных и накладных расходов с учетом затрат на осуществление проекта. Согласно, сметы затрат расходы на НИР составляют 264276,53 рублей. Эффект от экономии времени за счет оперативного получения объективной информации о надежности и бесперебойности работ РВС, приводит к определенной экономии на численности лиц, задействованных в монтажных работах при аварийных ситуациях, следовательно должен привести к экономии затрат на оплату труда служащих и оплату дополнительных способов неразрушающего контроля или ремонта при аварии.

4 Социальная ответственность

Исследование напряженно-деформированного состояния резервуара является очень важной задачей, поскольку этот процесс позволяет наглядно изучить и спрогнозировать техническое состояние объекта, а также сделать необходимые выводы о сроках дальнейшей безопасной эксплуатации дефектного резервуара или выведению его из эксплуатации для ремонта. Основная проблема при возникновении дефектов геометрии стенки резервуаров — это разгерметизация, которая приведет к катастрофическим последствиям (взрыв, пожар, розлив), дальнейшая эксплуатация будет или невозможна, или стоить большого количества затрат на его восстановление.

В данной работе рассмотрено влияние локальных дефектов геометрии стенки резервуара типа РВС 10000 м³ на его напряженно-деформированное состояние. В разделе анализируется возможное влияние используемого оборудования, сырья, энергии, продукции и условий работы на человека и окружающую среду; техника безопасности при работе с оборудованием и действия при возможных чрезвычайных ситуациях, отказах оборудования.

4.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

При эксплуатации резервуара требования по охране труда определяются законом «Закон о промышленной безопасности опасных производственных объектов», «Об основах охраны труда в РФ». В связи со спецификой деятельности работникам резервуарного парка приходится работать на значительном удалении от места нахождения своей компании. Вахтовая работа регулируется отдельным законодательством. Особенности

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			
					Анализ влияния дефектов геометрии стенки РВС на его напряженно-деформированное состояние при эксплуатации		
Разраб.		Калинин А.А.			Лит.	Лист	Листов
Руковод.		Валитова Е.Ю.				78	96
Консульт.					Социальная ответственность Отделение нефтегазового дела Группа 2Б7Б		
Рук-ль ООП		Брусник О.В.					

регулирования труда лиц, работающих вахтовым методом, посвящена глава 47 ТК РФ [33]. Вахтой считается общий период, включающий время выполнения работ на объекте и время междусменного отдыха (ст.299 ТК РФ).

Вахтовый метод представляет собой особую форму осуществления трудового процесса вне места постоянного проживания работников, когда не может быть обеспечено ежедневное их возвращение к месту постоянного проживания. Вахтовый метод применяется при значительном удалении места работы от места постоянного проживания работников или места нахождения работодателя в целях сокращения сроков работы с объектами производственного назначения в необжитых, отдаленных районах или районах с особыми природными условиями.

Работники, занятые исследованием технического состояния резервуара, в период нахождения на объекте проживают в вахтовых городках, представляющих собой комплекс быстровозводимых сооружений, предназначенных для обеспечения жизнедеятельности во время выполнения ими работ и междусменного отдыха. Продолжительность вахты не должна превышать одного месяца. В исключительных случаях на отдельных объектах работодателем с учетом мнения выборного профсоюзного органа данной организации продолжительность вахты может быть увеличена до трех месяцев (ст. 299 ТК РФ).

После проведения диагностических мероприятий и натурных обмеров резервуара, наступает этап обработки результатов сканирования, построение модели и расчет на прочность. Организацию рабочей зоны регламентирует ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ «Рабочее место при выполнении работ сидя». Общие эргономические. Расстояние между оборудованием должно быть достаточным для свободного прохода, провода компьютерной техники – аккуратно размещены, рабочие столы – удобны для работы, рабочее кресло – регулируемо.

					Социальная ответственность	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		79

В соответствии с Трудовым Кодексом Российской Федерации работодатель обязан обеспечить нормальные условия для выполнения работниками норм выработки. К таким условиям, в частности, относятся:

- исправное состояние помещений, сооружений, машин, технологической оснастки и оборудования;
- своевременное обеспечение технической и иной необходимой для работы документацией;
- надлежащее качество материалов, инструментов, иных средств и предметов, необходимых для выполнения работы, их своевременное предоставление работнику;
- условия труда, соответствующие требованиям охраны труда и безопасности производства.

4.2 Производственная безопасность

Вертикальный стальной резервуар является опасным производственным объектом с повышенной взрыво- и пожароопасностью. Мероприятия по обслуживанию и контролю надежности резервуаров относятся к работам повышенной опасности, при эксплуатации которых возможны опасные и вредные производственные факторы, приводящие к снижению работоспособности и повышению травмоопасности на рабочем месте (Таблица 22).

Таблица 22 – Возможные вредные и опасные факторы

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работы			Нормативные документы
	Диагностика	Сбор данных	Анализ данных	
Повышенный уровень вибрации	+	–	–	ГОСТ 26568-85 [24]
Отклонение параметров микроклимата на открытом воздухе	+	+	–	ГОСТ 12.0.003-2015 [25]
Повышенный уровень шума	+	–	+	ГОСТ 12.1.003-2014 [26]

Недостаточная освещенность рабочего пространства	+	-	+	СНиП 23-05-95* [27]
Загазованность рабочего места	+	+	-	ГОСТ 12.3.002-2014 ССБТ [28]
Пожароопасность	+	+	-	ГОСТ 12.1.010-76 ССБТ [29]
Движущиеся машины и механизмы	+	+	-	ГОСТ 12.2.003-91 [30]
Оборудование, работающее под давлением	+	+	-	ГОСТ 12.2.049-80 ССБТ [32]
Взрывоопасность	+	+	-	ГОСТ 12.1.010-76 ССБТ [29]

Повышенный уровень вибрации:

В процессе эксплуатации резервуар подвергается всем технологическим стадиям транспорта и хранения нефтепродуктов, благодаря чему появляется фактор вибрации. Для санитарного нормирования и контроля используются средние квадратические значения вибрации, а также их логарифмические уровни в децибелах. Для первой категории общей вибрации, по санитарным нормам скорректированное по частоте значение виброускорения составляет 62 дБ, а для виброскорости – 116 дБ. Наиболее опасной для человека является вибрация с частотой 6-9 Гц. [21]

Вибробезопасные условия труда должны быть обеспечены:

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

Отклонение параметров микроклимата на открытом воздухе:

При отклонении показателей микроклимата у работника происходит быстрая утомляемость, также снижается производственная активность и повышается заболеваемость. В летний период времени при проведении работ по ремонту или обслуживанию резервуара у работника появляется большая

вероятность получить солнечный удар, с возможной потерей сознания. При повышенных температурах необходимо организовать рациональный режим труда и отдыха. Необходимо ввести дополнительные перерывы в местах с благоприятным микроклиматом по 15-20 минут. Для защиты от солнечных лучей работникам необходимо использовать головные уборы, солнцезащитные очки и спецодежду.

В зимний период времени существует угроза переохлаждения. В настоящее время для оценки допустимости проведения работ и их нормирования на открытом воздухе в условиях крайнего севера используется понятие предельной жесткости погоды, устанавливаемая для каждого района решением местных региональных органов управления. Предельная жесткость погоды, ниже которой не могут выполняться работы на открытом воздухе, колеблется в пределах от -40 до -45°С. [22]

При эквивалентной температуре наружного воздуха ниже -25°С работающим на открытом воздухе или в закрытых необогреваемых помещениях и другим работникам, ежечасно должен быть обеспечен обогрев в помещении, где необходимо поддерживать температуру около +25°С. Для профилактики охлаждения и переохлаждения необходимо обеспечить работника теплой спецодеждой, прекратить работы из-за погодных условий, сократить продолжительность смены.

Повышенный уровень шума:

Во время эксплуатации оборудование является источником шума. При изготовлении деталей для виброзащитного устройства необходимо предусмотреть, чтобы уровень шума в цехе не превышал допустимого уровня. Все это необходимо для того, чтобы предотвратить вредное влияние шума на организм человека. Повышенный уровень шума приводит к быстрой утомляемости человека и является общебиологическим раздражителем. В последствии продолжительного влияния шума падает производительность физического труда на 10%, а умственного – более чем на 40%. Уровень шума не должен превышать 80 дБА. Средствами индивидуальной защиты от шума

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

являются ушные вкладыши, наушники и шлемофоны, применение звукоизолирующих и звукопоглощающих средства. Запрещается даже кратковременное пребывание в зоне с уровнями звукового давления, превышающими 135 дБА. [23]

Недостаточная освещенность рабочего пространства:

Плохое освещение негативно воздействует на зрение, приводит к быстрому утомлению, снижает работоспособность, вызывает дискомфорт, является причиной головной боли и бессонницы. Для освещения резервуарных парков следует применять прожекторы, установленные на мачтах, расположенных за пределами внешнего обвалования и оборудованных помостками и лестницами для обслуживания. Для местного освещения следует применять аккумуляторные фонари напряжением не более 12 В во взрывобезопасном исполнении, включение и выключение которых должно проводиться вне обвалования.

При анализе полученных данных и расчете напряженно-деформированного состояния резервуара требуется работа на ПК. Недостаточная освещенность рабочей зоны помещения, оборудованной ПК, также является одной из причин нарушения зрительной функции, а также влияет на общее самочувствие и эффективность труда. Искусственное освещение в помещениях для эксплуатации ПК должно осуществляться системой общего равномерного освещения. В случаях преимущественной работы с документами, следует применять системы комбинированного освещения (к общему освещению дополнительно устанавливаются светильники местного освещения, предназначенные для освещения зоны расположения документов). Окна в помещениях, где эксплуатируется вычислительная техника, преимущественно должны быть ориентированы на север и северо-восток.

Загазованность рабочего места:

На территории резервуарных парков необходимо осуществлять контроль воздушной среды на наличие вредных веществ с помощью

					Социальная ответственность	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		83

переносных газоанализаторов. Уменьшение неблагоприятного воздействия запыленности и загазованности воздуха достигается за счет регулярной вентиляции рабочей зоны. Работающие в условиях пылеобразования должны быть в противопыльных респираторах, защитных очках и комбинезонах.

Контроль воздушной среды должен проводиться в зоне дыхания при характерных производственных условиях посредством газоанализатора или рудничной лампы. Содержание вредных веществ в воздухе рабочей зоны не должно превышать предельно допустимых концентраций (ПДК). [25] Предельно допустимая концентрация пыли, как вещества умеренно опасного, в воздухе рабочей зоны составляет 1,1-10 мг/м³, для паров нефти и газа ПДК 300 мг/м³. Замер концентраций паров должен проводиться не реже 1 раза в смену - в каре резервуарных парков с резервуарами типа РВСП и РВСПК; 1 раза через 4 часа - в каре с резервуарами типа РВС.

Взрыво- и пожароопасность:

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. [29]

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 = 2100 мг/м³. Все работники должны

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

допускаться к работе только после прохождения противопожарного инструктажа.

Вся передвижная техника в охранной зоне МГ должна быть обеспечена искрогасителями заводского изготовления. Самоходная техника, сварочные агрегаты, компрессоры, задействованные в производстве подготовительных и огневых работ, должны быть обеспечены не менее чем двумя огнетушителями ОУ-10, ОП-10. В помещениях на видных местах должны быть вывешены таблички с указанием порядка вызова пожарной охраны. Объект необходимо обеспечить прямой связью с ближайшим подразделением пожарной охраны или оператором КС. При работе категорически запрещается курить на рабочем месте. На рабочих местах должны быть вывешены предупредительные надписи: «Не курить», «Огнеопасно», «Взрывоопасно». В случае возникновения пожара использовать пенные, порошковые, углекислотные огнетушители или приспособления для распыления воды. [27]

Движущиеся машины и механизмы:

Скорость движения автотранспорта, по строительной площадке и вблизи мест производства работ не должны превышать 10 км/час на прямых участках и 5 км/час на поворотах. Движущиеся части производственного оборудования, являющиеся возможным источником травмоопасности, должны быть ограждены или расположены так, чтобы исключалась возможность прикосновения к ним работающего, предотвращающие травмы. К средствам, защищающим человека от механических опасностей, относят; ограждения, предохранительные устройства; блокировки, удерживающие и тормозные устройства, сигнализаций, предупреждающие надписи. СИЗ человека являются: защитные очки и маски, каски, термостойкие перчатки, противогазы и респираторы, защитная одежда.

Оборудование, работающее под давлением:

Образование дефектов на поверхности стенок резервуаров влечет за собой появление концентраторов напряжений, утонение металла и т.д.

					Социальная ответственность	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		85

Учитывая, что в резервуаре действуют внушительные эксплуатационные нагрузки и давления продукта на стенки, он обладает повышенной опасностью. Особенной опасностью являются гидроиспытания изношенных РВС проектным давлением.

Сосуды, работающие под давлением свыше 0,07 МПа, снабжаются следующими приборами: указателями уровня жидкости, обязательными для сосудов, обогреваемых пламенем или горючими газами; запорной арматурой, устанавливаемой на трубопроводах, подводящих и отводящих из сосуда пар, газ или жидкость; приборами для измерения давления и температуры; предохранительными устройствами. [27]

Каждый сосуд, работающий под давлением, снабжается манометром. Предохранительные устройства (пружинные, рычажно-грузовые клапаны или разрывные мембраны) сосудов должны исключать возможность превышения рабочего давления. Ответственность за исправное состояние и безопасную эксплуатацию сосудов должна быть возложена на специалиста, которому подчинен персонал, обслуживающий сосуды.

4.3 Экологическая безопасность

Безопасность окружающей среды при эксплуатации РВС должна обеспечиваться отсутствием неконтролируемых утечек нефти. В процессе налива, хранения и опорожнения резервуара должны быть исключены негативные воздействия на окружающую среду.

Виды воздействий на природную среду в период эксплуатации резервуара: – Загрязнение выбросами выхлопных газов от строительной техники при производстве работ; – Выбросы при опорожнении и заполнении резервуаров; – Образование и размещение отходов, образующихся при технологической эксплуатации.

					Социальная ответственность	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		86

Защита атмосферы:

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

Уменьшение газового пространства, это один из наиболее эффективных методов борьбы с потерями от испарения и выбросом в окружающую среду. Немаловажным фактором является в целом состояние резервуара. Наличие коррозии и различных видов дефектов также приводит к большим потерям и выбросам. Резервуары и прилежащую территорию содержат в чистоте, и оборудуют средствами пожаротушения и молниеотводами.

Защита гидросферы:

Значительное отрицательное воздействие на гидросферу оказывают разливы нефти, которые могут быть связаны с несоблюдением норм технической безопасности, а также в связи со стихийными бедствиями.

При попадании нефти в водоемы на поверхности воды образуется пленка, препятствующая воздушному обмену, вследствие чего приносит значительный ущерб живущим организмам. Методы локализации разливов нефтепродуктов: – Термический – Механический – Биологический – Физико-химический

Основным методом считается механический. Большая эффективность этого метода достигается в начале разлива, когда толщина нефтяного слоя остается большой.

Термический метод основан на выжигании верхнего слоя нефти.

Физико-химический использование адсорбентов и сорбентов. Сорбенты при соприкосновении с нефтью впитывают её, как губка, в то время как адсорбенты притягивают к своей поверхности слой нефтепродуктов, словно магнит. После этого данные материалы сжигают.

					Социальная ответственность	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		87

Биологический применяется после физико-химического и механического метода, когда толщина слоя не менее 0,1 мм. В основе лежит окисление углеводорода или биохимических препаратов.

Защита литосферы:

Загрязнение почв нефтепродуктами приводит к значительному экологическому и экономическому ущербу: понижается продуктивность лесных ресурсов, ухудшается санитарное состояние окружающей среды. Земельные участки, отведенные в постоянное пользование, благоустраиваются с использованием предварительно снятого почвенно-растительного слоя.

Мероприятия по защите окружающей среды:

- Проводить периодический контроль за содержанием загрязняющих веществ и выхлопных газов;
- Использовать экологически безопасных источники энергии;
- Проводить контроль за утилизацией и своевременным удалением с территории твердых отходов;
- Использовать безотходное производство;
- Внедрить очистные фильтры на предприятии;
- Своевременно ликвидировать последствия загрязнения окружающей среды.

Производственно-дождевые сточные воды нефтеперекачивающих станций и нефтебаз перед сбросом их в водоемы и водотоки должны быть очищены. Необходимая степень очистки должна быть обоснована с учетом места сброса сточных вод и установленного норматива предельно допустимого сброса загрязняющего вещества.

4.4 Защита в чрезвычайных ситуациях

Чрезвычайные ситуации в резервуарных парках приводят к большим материальным и человеческим потерям. ЧС которые могут возникнуть в

					Социальная ответственность	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		88

резервуарном парке, это ЧС техногенного характера и экологического.

Мероприятия по предупреждению ЧС техногенного характера разрабатываются территориальными, ведомственными и функциональными органами управления и должны обеспечивать функционирование соответствующих звеньев экономики при заданном уровне безопасности для производственного персонала, населения, объекта экономики и окружающей природной среды. Мероприятия по предупреждению ЧС разрабатываются и осуществляются с учетом прогнозов аварий, возникающих на объектах экономики и их ожидаемых последствий. Характер, объем, и сроки проведения мероприятий зависят от степени опасности источников ЧС для населения, окружающей природной среды и возможного экономического ущерба в случае возникновения ЧС, а также от значения объектов для жизнеобеспечения населения в условиях ЧС и результатов предшествующей работы по предупреждению ЧС.

Резервуары входят в состав опасных производственных объектов и подлежат регистрации в государственном реестре в соответствии с Федеральным законом РФ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов». Рассматриваемый резервуар типа РВС-10000 м³ относится к 3 классу опасности. [19]

Основными методами, способствующими уменьшению масштабов ЧС, являются:

- Обучение персонала навыкам поведения в ЧС;
- Усиленный контроль за состоянием объекта;
- Первичная система пожаротушения (система орошения применяется для тушения горящего резервуара, а также для охлаждения при горении соседнего резервуара). Генератор пены предназначен для пенного пожаротушения нефтепродуктов внутри резервуара;
- Во избежание аварийного разлива нефти, каждый резервуар должен быть огражден земляным обвалованием;

					Социальная ответственность	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		89

- Система оповещения населения, персонала объекта и органов управления для своевременных необходимых мер по защите населения.

Вывод по разделу:

Данный раздел посвящён анализу вредных и опасных факторов труда работников, занятых диагностированием резервуаров вертикальных стальных в местах расположения объектов – резервуарных парках, сбором данных по их фактической геометрии и геометрии образовавшихся дефектов, а также анализом этих данных на персональном компьютере с помощью вычислительных проектных программных обеспечений. Затрагиваются вопросы экологической безопасности, влияния возможных разливов нефти и нефтепродуктов при авариях на резервуарах на окружающую среду. Также в ходе проделанной работы были оценены вредные и опасные факторы, влияющие на состояние персонала, рассмотрены вопросы техники безопасности, пожарной профилактики и охраны окружающей среды и даны рекомендации по созданию оптимальных условий труда.

Всевозможные аварийные последствия, которые связаны с безопасностью труда работников, а также условиями охраны окружающей среды необходимо снизить. Выполнение всех требований мер безопасности, а также мер по предупреждению опасных воздействий, будет помогать избегать влияния вредных и опасных факторов на персонал и экологию. Помимо этого, приведены особенности законодательного регулирования проектных решений, а также меры по защите населения и территории предприятия от чрезвычайных ситуаций техногенного и экологического характера.

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

Заключение

В выпускной квалификационной работе был проведён анализ научной и технической литературы, нормативно-технической документации. В результате выявлены основные методы определения фактической геометрии резервуаров, а также методы оценки механической надежности. Наиболее эффективной и актуальной комбинацией оказалось сочетание высокоточного и мобильного метода трехмерного наземного лазерного сканирования, а также метода обработки полученных данных и проведения дальнейшего расчета напряженно-деформированного состояния при помощи конечно-элементного моделирования с воссозданием реальных эксплуатационных нагрузок на базе программного комплекса ANSYS. Построена твердотельная модель резервуара с возможностью включения/отключения геометрии вмятины стенки по заданным параметрам. По подготовленным конечно-элементным моделям резервуара в двух состояниях: без вмятины и с вмятиной был проведён анализ влияния дефекта геометрии стенки резервуара на его напряженно-деформированное состояние методом конечных элементов при статическом нагружении, на основании которого были сделаны выводы о невозможной дальнейшей безопасной эксплуатации объекта и даны рекомендации к выводу резервуара с заданным дефектом в ремонт.

Высокая степень достоверности полученных результатов была доказана сравнительным анализом параметров эквивалентного напряжения по Мизесу, а также значения эквивалентного напряжения при статическом расчете на прочность нижнего пояса стенки эксплуатируемого резервуара с заданными характеристиками. Значит проведение подобных исследований

					Анализ влияния дефектов геометрии стенки РВС на его напряженно-деформированное состояние при эксплуатации			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				
<i>Разраб.</i>		Калинин А.А.			Заключение	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Руковод.</i>		Валитова Е.Ю.					91	96
<i>Консульт.</i>						Отделение нефтегазового дела Группа 2Б7Б		
<i>Рук-ль ООП</i>		Брусник О.В.						

надежности может в достаточной мере сократить процент ЧС, связанных с утечкой нефтепродуктов из резервуаров, уже не пригодных для дальнейшей эксплуатации.

Таким образом, все поставленные задачи решены. Задание на выпускную квалификационную работу выполнено в полном объеме. Цель «проведение анализа влияния дефекта (вмятины) стенки на напряженно-деформированное состояние резервуара методом конечных элементов, для принятия решения о его дальнейшей эксплуатации или выводе в ремонт» достигнута.

					Заключение	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		92

Список использованных источников

1. Березин В.Л. Устойчивость верхних поясов стальных вертикальных цилиндрических резервуаров / Березин В.Л., Гумеров А.Г., Ясин Э.М. // Нефть и газ. – 1969. – №4. – 81-85 с.
2. Березин В.Л. Вопросы эксплуатационной надежности резервуаров на нефтеперерабатывающих заводах / Березин В.Л., Мацкин А.А., Гумеров А.Г., Ясин Э.М. – М.: ЦНИИТЭ нефтехим, 1971. – 67 с.
3. Березин В.Л. Прочность и устойчивость резервуаров и трубопроводов / Березин В.Л., Шутов В.Е. – М.: Недра, 1973. – 223 с.
4. Сафарян М.К. Основные положения расчета цилиндрических и сферических оболочек на устойчивость (применительно к резервуаростроению) / Сафарян М.К. // «Монтажные работы в строительстве». – 1967. – М., вып. 2. – 20-33 с.
5. Сафарян М.К. Металлические резервуары и газгольдеры / Сафарян М.К. – М.: Недра, 1987. – 200 с.
6. Хоперский Г.Г. Исследование напряженно-деформированного состояния стенки резервуара при неравномерных осадках основания: дисс. канд. техн. наук: 05.15.13 / Хоперский Г.Г. – Тюмень, 1998. – 197 с.
7. Тарасенко А.А. Модель резервуара в среде ANSYS Workbench 14.5 / Тарасенко А.А., Чепур П.В., Чирков С.В., Тарасенко Д.А. // Фундаментальные исследования. – 2013. – № 10-15. – 3404-3408 с.
8. Головачев А.А. Расчет напряженно-деформированного состояния стенки нефтеналивного резервуара с дефектом формы в виде вмятины / Головачев А.А., Марков П.В., Сметанников О.Ю. // Прикладная математика и механика: сб. науч. тр. – 2007 – № 8(10).

					Анализ влияния дефектов геометрии стенки РВС на его напряженно-деформированное состояние при эксплуатации			
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата				
Разраб.		Калинин А.А.			Список использованных источников	Лит.	Лист	Листов
Руковод.		Валитова Е.Ю.					93	96
Консульт.						Отделение нефтегазового дела Группа 2Б7Б		
Рук-ль ООП		Брусник О.В.						

9. Головачев А.А. Исследования концентрации напряжений в тонкостенных конструкциях со сверхнормативными дефектами формы и материала и создание технологии оценки их эксплуатации / Головачев А.А., Сметанников О.Ю. // Вестник ПГТУ. Механика. –2009. – №1. – 93-102 с.
10. Евдокимов В.В. Дифференцированный подход к определению допустимых размеров вмятин на поверхности стенки резервуаров / Евдокимов В.В., Труфанов Н.А., Сметанников О.Ю. // Промышленное и гражданское строительство. – 2006. – №6. – 15-16 с.
11. Тарасенко А.А. Напряженно-деформированное состояние крупногабаритных резервуаров при ремонтных работах: дисс. канд. техн. наук: 05.15.13 / Тарасенко Александр Алексеевич. – Тюмень, 1991. – 253 с.
12. Тарасенко А.А. Разработка научных основ методов ремонта вертикальных стальных резервуаров: дисс. д-ра техн. наук: 05.15.13 / Тарасенко Александр Алексеевич. – Тюмень, 1999. – 299 с.
13. Слепнев И.В. Напряженно-деформированное состояние стальных цилиндрических резервуаров при неравномерных осадках оснований: дисс. канд. техн. наук: 05.23.01 / Слепнев Игорь Владимирович. – Москва, 1988. – 225 с.
14. 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.
15. Буренин В.А. Прогнозирование индивидуального остаточного ресурса стальных вертикальных резервуаров: дис. д-ра техн. н. Уфа, 1994. – 294 с.
16. Тишкин В.О. Методика сбора и обработки данных, полученных в процессе 3D-сканирования / Тишкин В.О. // Научно-технический вестник Санкт Петербургского государственного университета информационных технологий, механики и оптики. – 2011. – №1 (71). – 87-92 с.
17. Патент РФ №2608681, 25.08.2017. Устройство для измерения геометрической деформации стенок цилиндрических и сферических резервуаров, заполняемых светлыми нефтепродуктами (газами) // Патент

					Список использованных источников	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		94

- России №2608681. 2015. Бюл. № 2. / Кошечкин М.В., Артемов В.В. [и др.].
18. Патент ЕАПВ № 202091008, 29.07.2020. Система и способ дистанционного мониторинга целостности труб под давлением при помощи виброакустических источников // Патент Евразийское патентного ведомства № 202091008. 2018. Бюл. № 1А. / Джунта Д., Бернаскони Д. [и др.].
19. ГОСТ 31385-2016. Резервуары вертикальные цилиндрические стальные для нефти и нефтепродуктов. Общие технические условия: дата введения 2017-03- URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200138636> (дата обращения: 05.04.2021). – Текст: электронный.
20. СП 16.13330.2017 «Стальные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-23-81*» (с поправкой, с изменениями N 1, 2): дата введения 2017-08-28. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/456069588> (дата обращения: 09.05.2021). – Текст: электронный.
21. РД-23.020.00-КТН-283-09 «Правила ремонта и реконструкции резервуаров для хранения нефти объемом 1000-50000 куб.м. Том 1», 2009.
22. СП 20.13330.2016 Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85* (с Изменениями N 1, 2): дата введения 2017-06-04. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/456044318> (дата обращения: 01.06.2021). – Текст: электронный.
23. ГОСТ 19281-2014 Прокат повышенной прочности. Общие технические условия: дата введения 2015-01-01. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200113779> (дата обращения: 01.05.2021). – Текст: электронный.
24. ГОСТ 26568-85. Вибрация. Методы и средства защиты. Классификация: дата введения 1987-01-01. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200009518> (дата обращения: 03.06.2021). – Текст: электронный.
25. ГОСТ 12.0.003-2015 ССБТ. Система стандартов по безопасности труда. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация: дата введения 2017-03-01. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200136071> (дата обращения: 23.05.2021). – Текст: электронный.

					Список использованных источников	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		95

26. ГОСТ 12.1.003-2014. Система стандартов безопасности труда. Шум. Общие требования безопасности: дата введения 2018-03-01. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/123413571> (дата обращения: 25.05.2021). – Текст: электронный.
27. СНиП 23-05-95*. Естественное и искусственное освещение: дата введения 1996-01-01. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/871001026> (дата обращения: 29.05.2021). – Текст: электронный.
28. ГОСТ 12.3.002-2014 ССБТ. Система стандартов безопасности труда. Процессы производственные. Общие требования безопасности: дата введения 2016-07-01. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200124407> (дата обращения: 23.05.2021). – Текст: электронный.
29. ГОСТ 12.1.010-76 ССБТ. Взрывобезопасность. Общие требования. (С изменением № 1): дата введения 1978-01-01. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/5200270> (дата обращения: 06.06.2021). – Текст: электронный.
30. ГОСТ 12.2.003-91 ССБТ. Система стандартов безопасности труда. Оборудование производственное. Общие требования безопасности: дата введения 2015-01-01. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200113779> (дата обращения: 20.05.2021). – Текст: электронный.
31. Федеральный закон «О промышленной безопасности опасных производственных объектов 116-ФЗ от 21.07.1997 г. с изменениями от 8.12.2020 г.»
32. ГОСТ 12.2.049-80 ССБТ. «Оборудование производственное. Общие эргономические требования»: дата введения 1982-01-01. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/5200234> (дата обращения: 15.05.2021). – Текст: электронный.
33. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 №197-ФЗ (ред. от 30.04.2021) // Собрание законодательства РФ. – Глава 34, ст. 212. Обязанности работодателя по обеспечению условий и охраны труда.

					Список использованных источников	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		96