

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

Инженерная школа природных ресурсов (ИШПР)
 Направление подготовки (специальность) 21.03.01 «Нефтегазовое дело»
Профиль «Эксплуатация и обслуживание объектов транспорта и хранения нефти, газа и продуктов переработки»
 Отделение нефтегазового дела

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
«Оценка влияния дефектов сварных соединений стенки и приемо-раздаточных патрубков на напряженно-деформированное состояние резервуара вертикального стального»

УДК 622.692.23-025.71-034.14:621.791.053

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2Б7Б	Кирченко Н.Н.		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Никульчиков А.В.	к.ф-м.н		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Клемашева Е.И.	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
старший преподаватель	Фех А.И.	-		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

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

Результат освоения ООП

Код	Результат освоения ООП	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	<i>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)</i>
P2	Решать профессиональные инженерные задачи на основе информационной и библиографической культуры с применением информационно-коммуникационных технологий и с учетом основных требований информационной безопасности	<i>Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (УК(У)-4, УК(У)-5, УК(У)-8, ОПК(У)-5, ОПК(У)-6)</i>
P3	Осуществлять и корректировать технологические процессы при эксплуатации и обслуживании оборудования нефтегазовых объектов	<i>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)</i>
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	<i>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)</i>
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	<i>Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (ОПК(У)-4, ПК (У)-23, ПК (У)-24)</i>
P6	Использовать стандартные программные средства для составления проектной и рабочей и технологической документации в области нефтегазового дела	<i>Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (УК(У)-2, ОПК(У)-3, ОПК(У)-5, ОПК(У)-6, ПК(У)-25, ПК(У)-26)</i>
P7	Применять диагностическое оборудование для проведения технического диагностирования объектов ЛЧМГ и ЛЧМН	<i>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".</i>
P8	Выявлять неисправности трубопроводной арматуры, камер пуска и приема внутритрубных	<i>Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (ОПК(У)-5, ОПК(У)-6, ПК(У)-9, ПК(У)-11), требования профессионального стандарта 19.010</i>

Код	Результат освоения ООП	Требования ФГОС ВО, СУОС, критериев АИОР, и/или заинтересованных сторон
	устройств, другого оборудования, установленного на ЛЧМГ и ЛЧМН.	<i>"Специалист по транспортировке по трубопроводам газа".</i>
Р9	Владеть методами и средствами для выполнения работ по техническому обслуживанию, ремонту, диагностическому обследованию оборудования, установок и систем НППС.	<i>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".</i>

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования

**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
 ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Инженерная школа природных ресурсов (ИШПР)
 Направление подготовки (бакалавриат) 21.03.01 «Нефтегазовое дело»
 профиль «Эксплуатация и обслуживание объектов транспорта и хранения нефти, газа и
 продуктов переработки»
 Отделение нефтегазового дела

УТВЕРЖДАЮ:
 Руководитель ООП ОНД ИШПР

 (Подпись) (Дата) **Брусник О.В.**
 (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврской работы

Студенту:

Группа	ФИО
2Б7Б	Кирченко Никите Николаевичу

Тема работы:

«Оценка влияния дефектов сварных соединений стенки и приемо-раздаточных патрубков на напряженно-деформированное состояние резервуара вертикального стального».
Утверждена приказом директора (дата, номер) 05.02.2021 г. № 36-79/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i>	Объект исследования: Резервуар вертикальный стальной 20000 м ³ , изготовленный по типовому проекту 704-1-60. Объект относится к технологическому сооружению повышенной опасности, требующему особых условий эксплуатации. Режим работы: круглосуточный, периодический

<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</p> <p><i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Аналитический обзор литературных источников с целью выявления современных методов решения поставленной задачи; 2. Изучение имеющейся проблемы; 3. Аналитический расчет напряженно-деформированного состояния стенки резервуара в зоне врезки патрубка; 4. Численный расчет напряженно-деформированного состояния РВС без дефекта сварного соединения; 5. Численный расчет напряженно-деформированного состояния РВС с учетом различных дефектов сварного соединения патрубка и стенки; 6. Оценка влияний дефектов сварных соединений стенки и приемо-раздаточных патрубков на напряженно-деформированное состояние резервуара; 7. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение; 8. Социальная ответственность.
<p>Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<p>Таблицы, рисунки.</p>
<p>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i></p>	
<p>Раздел</p>	<p>Консультант</p>
<p>«Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»</p>	<p>Клемашева Е.И., к.э.н., доцент</p>
<p>«Социальная ответственность»</p>	<p>Фех А.И., старший преподаватель</p>
<p>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</p>	

<p>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</p>	<p>28.04.2021</p>
--	-------------------

Задание выдал руководитель:

<p>Должность</p>	<p>ФИО</p>	<p>Ученая степень, звание</p>	<p>Подпись</p>	<p>Дата</p>
<p>Доцент</p>	<p>Никульчиков А.В.</p>	<p>к.ф.- м.н.</p>		<p>28.04.2021</p>

Задание принял к исполнению студент:

<p>Группа</p>	<p>ФИО</p>	<p>Подпись</p>	<p>Дата</p>
<p>2Б7Б</p>	<p>Кирченко Никита Николаевич</p>		<p>28.04.2021</p>

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

Группа	ФИО
2Б7Б	Кирченко Никита Николаевич

Школа	Инженерная школа природных ресурсов	Отделение (НОЦ)	Отделение нефтегазового дела
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	21.03.01 «Нефтегазовое дело»

Тема ВКР:

«Оценка влияний дефектов сварных соединений стенки и приемо-раздаточных патрубков на напряженно-деформированное состояние резервуара вертикального стального».

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Объектом исследования в данной работе является резервуар для хранения нефти и нефтепродуктов. Наличие несплошностей сварных швов в зоне соединения стенки и приемо-раздаточных патрубков оказывает негативное влияние на работу РВС и может привести к его разгерметизации. Необходимую информацию о наличии дефектов сварных соединений можно получить в ходе полного технического диагностирования резервуара. Область применения: резервуарный парк.
--	---

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"> – Закон об основах охраны труда в РФ №181-ФЗ от 17.07.1999 г (с изменениями от 20 мая 2002 г., 10 января 2003 г., 9 мая, 26 декабря 2005 г.). – Федеральный закон о промышленной безопасности опасных производственных объектов 116-ФЗ от 21.07.1997г. с изменениями от 7.08.2000 г. – Трудовой кодекс №197-ФЗ (с изм. и доп., вступ. в силу с 13.04.2014) – Правила безопасности в нефтяной и газовой промышленности ПБ 08624-03 – ГН 2.2.5.3532–18 «Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны» – ГОСТ 12.1.005-88 «Общие санитарногигиенические требования к воздуху рабочей зоны» – Инструкции по технике безопасности предприятия и др.
<p>2. Производственная безопасность:</p> <p>2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов</p> <p>2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия</p>	<p>Работы по подготовке РВС к полной технической диагностике являются работами повышенной опасности вследствие потенциальной возможности влияния опасных и вредных факторов.</p> <p>Вредные факторы:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Запыленность и загазованность воздушной среды; 2. Наличие электромагнитных полей, ионизирующих излучений;

	<p>3. Тяжесть и напряженность физического труда;</p> <p>4. Работа в сложных погодных условиях.</p> <p>Опасные факторы:</p> <p>1. Расположение рабочего места на значительной высоте относительно поверхности земли;</p> <p>2. Выполнение газоопасных работ;</p> <p>3. Воздействие на организм человека электрического тока.</p>
3. Экологическая безопасность:	<p>Подготовка и выполнение работ по полной технической диагностики резервуара сопровождается:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Загрязнением атмосферы выхлопами от машин; – Загрязнением и повреждением почвеннорастительного покрова производственными отходами; – Загрязнением поверхностных водных источников и подземных вод.
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	<p>В процессе эксплуатации резервуара с дефектами сварных швов в зоне соединения стенки и приемораздаточных патрубков возможна разгерметизация РВС, взрыв или пожар, которые будут сопровождаться разливом нефти. Чрезвычайные ситуации могут возникнуть по причинам природного характера (гроза, пожар) или по причинам техногенного характера (аварии). Наиболее распространенной ЧС является разгерметизация резервуара.</p>

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

Задание выдал консультант:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2Б7Б	Кирченко Никита Николаевич		

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

Студенту:

Группа	ФИО
2Б7Б	Кирченко Никите Николаевичу

Школа	Инженерная школа природных ресурсов	Отделение (НОЦ)	Отделение нефтегазового дела
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	21.03.01 «Нефтегазовое дело»

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

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	Амортизационные отчисления – 3556 р. Основная заработная плата – 121884р. Дополнительная заработная плата – 18282р. Отчисления во внебюджетные фонды – 42330р. Прочие прямые затраты – 500000 р. Накладные расходы – 109768 р.
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	Накладные расходы 16%; Районный коэффициент 30% Норма амортизации 33,3%
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	Коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды 30,2%

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

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

Перечень графического материала

1. <i>Карта сегментирования</i>	
2. <i>Матрица SWOT</i>	
3. <i>График проведения НИ</i>	

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент ОСГН ШБИП ТПУ	Клемашева Елена Игоревна	канд.экон.наук		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2Б7Б	Кирченко Никита Николаевич		

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

Инженерная школа природных ресурсов (ИШПР)
 Направление подготовки (специальность) 21.03.01 «Нефтегазовое дело»
 Профиль «Эксплуатация и обслуживание объектов транспорта и хранения нефти, газа и продуктов переработки»
 Уровень образования бакалавриат
 Отделение нефтегазового дела
 Период выполнения _____ (осенний / весенний семестр 2020/2021 учебного года)

Форма представления работы:

Бакалаврская работа

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН
выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:	25.06.2021г.
--	--------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
10.02.2021	Обзор литературы	
01.03.2021	Определение НДС стенки резервуара в зоне врезки патрубка аналитическим методом расчета	
22.03.2021	Построение трехмерной модели и определение НДС стенки резервуара в зоне врезки патрубка численным методом расчета	
22.04.2021	Определение НДС стенки резервуара в зоне врезки патрубка численным методом расчета с учетом дефекта сварного соединения	
15.05.2021	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	
25.05.2021	Социальная ответственность	
05.05.2021	Заключение	
07.05.2021	Презентация	
	Итого	

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Никульчиков А.В.	к.ф.-м.н.		

СОГЛАСОВАНО:

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

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа включает 119 страниц текстового материала, 49 рисунков, 35 таблиц, 39 источников.

Ключевые слова: вертикальный стальной резервуар, сварной шов, дефект сварного шва, приемо-раздаточный патрубок, напряженно-деформированное состояние.

Объект исследования: резервуар вертикальный стальной типа РВС.

Цель работы: проведение оценки влияний дефектов сварных соединений стенки и приемо-раздаточных патрубков на напряженно-деформированное состояние резервуара вертикального стального.

Для достижения цели НИР решены следующие задачи:

- определено напряженно-деформированного состояния стенки резервуара в зоне врезки патрубка аналитическим методом расчета;
- создана трехмерная модели зоны врезки приемо-раздаточного патрубка (ПРП) в стенку резервуара РВС-20000;
- определено НДС стенки резервуара в зоне врезки патрубка численным методом расчета и подтверждена информации о достоверности созданной модели;
- создана трехмерной модели зоны врезки приемо-раздаточного патрубка (ПРП) в стенку резервуара РВС-20000 с дефектами сварного соединения;
- произведена оценка суммарных напряжений при воздействии дефектов различной формы на сварное соединение стенки резервуара и приемо-раздаточного патрубка;
- предложены способы борьбы с негативным влиянием дефекта сварного соединения патрубка и стенки РВС.

Область применения – нефтегазовое дело.

					Оценка влияний дефектов сварных соединений стенки и приемо-раздаточных патрубков на напряженно-деформированное состояние резервуара вертикального стального			
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата				
Разраб.		Кирченко Н.Н.			Реферат	Лит.	Лист	Листов
Руковод.		Никульчиков А.В.					10	119
Консульт.						ТПУ гр. 257Б		
Рук-ль ООП		Брусник О.В.						

Определения, обозначения, сокращения, нормативные ссылки

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

Дефект – каждое отдельное несоответствие параметров резервуара или его элемента требованиям нормативной и технической документации.

Класс опасности резервуара – степень опасности, возникающая при достижении предельного состояния резервуара, для здоровья и жизни граждан имущества физических или юридических лиц, экологической безопасности окружающей среды.

Недопустимый дефект – дефект или совокупность дефектов, вид, количество и/или геометрические параметры которых имеют недопустимые отклонения от значений, устанавливаемых требованиями нормативной и конструкторской документации.

Резервуар стальной вертикальный цилиндрический – наземное строительное сооружение, предназначенное для приема, хранения и выдачи жидкости.

Техническое диагностирование – комплекс работ по определению технического состояния конструкций резервуара, определению пригодности его элементов к дальнейшей эксплуатации.

В настоящей работе были использованы ссылки на следующие обозначения и сокращения:

РВС – резервуар вертикальный стальной;

ГОСТ – государственный стандарт;

СТО – стандарт организации;

РД – руководящий документ;

НДС – напряженно – деформированное состояние;

ПРП – приемо-раздаточный патрубок;

					Оценка влияния дефектов сварных соединений стенки и приемо-раздаточных патрубков на напряженно-деформированное состояние резервуара вертикального стального			
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата				
Разраб.		Кирченко Н.Н.			Определения, обозначения, сокращения, нормативные ссылки	Лит.	Лист	Листов
Руковод.		Никольчиков А.В.					11	119
Консульт.						ТПУ гр. 257Б		
Рук-ль ООП		Брусник О.В.						

ПДК – предельно допустимая концентрация;

ПДВК – предельно – допустимая взрывобезопасная концентрация;

В настоящей работе использованы ссылки на следующие стандарты:

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

ГОСТ 27751-2014 "Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения";

ГОСТ 14771-76 Дуговая сварка в защитном газе. Соединения сварные. Основные типы, конструктивные элементы и размеры;

ГОСТ 19281-2014 Прокат повышенной прочности. Общие технические условия;

ГОСТ Р 55724-2013 Контроль неразрушающий. Соединения стальные. Методы ультразвуковые;

ГОСТ 23055-78 «Контроль неразрушающий. Сварка металлов плавлением. Классификация сварных соединений по результатам радиографического контроля»;

СТО-СА-03-002-2009 Правила проектирования, изготовления и монтажа вертикальных цилиндрических стальных резервуаров для нефти и нефтепродуктов;

СП 16.13330.2017 Стальные конструкции;

СП 20.13330.2011 «Нагрузки и воздействия»;

СП 70.13330.2012 "СНиП 3.03.01-87 Несущие и ограждающие конструкции;

РБ 03-69-2013 "Руководство по безопасности вертикальных цилиндрических стальных резервуаров для нефти и нефтепродуктов";

ПБ 03-605-03 «Правила устройства вертикальных цилиндрических стальных резервуаров для нефти и нефтепродуктов»;

Руководство по безопасности "Рекомендации по техническому диагностированию сварных вертикальных цилиндрических резервуаров для нефти и нефтепродуктов".

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

Оглавление

ВВЕДЕНИЕ	15
1. АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР ПО ТЕМЕ ВЫПУСКНОЙ РАБОТЫ	18
1.1. КОНСТРУКТИВНЫЕ РЕШЕНИЯ, ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ И МОНТАЖА СТАЛЬНЫХ ВЕРТИКАЛЬНЫХ РЕЗЕРВУАРОВ ДЛЯ НЕФТИ И НЕФТЕПРОДУКТОВ.....	18
1.2. ХАРАКТЕР И ПРИЧИНЫ ОТКАЗОВ СТАЛЬНЫХ ВЕРТИКАЛЬНЫХ РЕЗЕРВУАРОВ.	22
1.3. КОНСТРУКЦИЯ МЕСТА СВАРНОГО СОЕДИНЕНИЯ ПРИЕМО-РАЗДАТОЧНЫХ ПАТРУБКОВ И СТЕНКИ РВС	29
Выводы по главе.....	33
2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ РЕЗЕРВУАРА АНАЛИТИЧЕСКИМ МЕТОДОМ РАСЧЕТА	34
2.1. ХАРАКТЕРИСТИКА ОБЪЕКТА ИССЛЕДОВАНИЯ.....	34
2.2. ВОЗДЕЙСТВИЯ И НАГРУЗКИ НА РВС-20000.....	37
2.3. АНАЛИТИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ НДС РЕЗЕРВУАРА В ЗОНЕ ВРЕЗКИ ПАТРУБКА	38
Вывод по главе.....	47
3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ РЕЗЕРВУАРА ЧИСЛЕННЫМ МЕТОДОМ РАСЧЕТА	48
3.1. ГЕОМЕТРИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ УЗЛА ВРЕЗКИ ПРИЕМО-РАЗДАТОЧНОГО ПАТРУБКА В СТЕНКУ РВС-20000 В SPACECLAIM	52
3.2. ЗАДАНИЕ КОНТАКТНЫХ ПАР И СОЗДАНИЕ КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНОЙ СЕТКИ МОДЕЛИ.....	55
3.3. ПРИЛОЖЕНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЙ И НАГРУЗОК НА МОДЕЛЬ	58
3.4. АНАЛИЗ НДС И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДОСТОВЕРНОСТИ МОДЕЛИ	58
Вывод по главе.....	61
4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ РЕЗЕРВУАРА ЧИСЛЕННЫМ МЕТОДОМ РАСЧЕТА ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ДЕФЕКТОВ СВАРНОГО СОЕДИНЕНИЯ СТЕНКИ И ПРИЕМО-РАЗДАТОЧНОГО ПАТРУБКА.....	62
4.1. КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ОБЪЕКТА ИССЛЕДОВАНИЯ	62
4.2. СОЗДАНИЕ МОДЕЛИ С ДЕФЕКТОМ.....	68
4.3. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ НДС	70
Вывод по главе.....	74
5. ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ДЕФЕКТОВ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ СТЕНКИ И ПРИЕМО-РАЗДАТОЧНЫХ ПАТРУБКОВ НА НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ РЕЗЕРВУАРА ВЕРТИКАЛЬНОГО СТАЛЬНОГО.....	75

					Оценка влияния дефектов сварных соединений стенки и приемо-раздаточных патрубков на напряженно-деформированное состояние резервуара вертикального стального			
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата				
Разраб.		Кирченко Н.Н.			Содержание	Лит.	Лист	Листов
Руковод.		Никкульчиков					13	119
Консульт.						ТПУ эр.2Б7Б		
Рук-ль ООП		Брусник О.В.						

6. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ	77
ВВЕДЕНИЕ.....	77
6.1. ПРАВОВЫЕ И ОРГАНИЗАЦИОННЫЕ ВОПРОСЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ	78
6.2. ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ	80
6.3. ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ	87
6.4. БЕЗОПАСНОСТЬ В ЧС	89
6.5. ПОЖАРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ.....	91
7. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ.....	93
ВВЕДЕНИЕ.....	93
7.1. ОЦЕНКА КОММЕРЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА И ПЕРСПЕКТИВНОСТИ ПРОВЕДЕНИЯ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ С ПОЗИЦИИ РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТИ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЯ	94
7.1.1. Потенциальные потребители результатов исследования.....	94
7.1.2. Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.....	95
7.1.3. SWOT-анализ.....	97
7.2. ПЛАНИРОВАНИЕ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ РАБОТ.....	99
7.2.1. Структура работ в рамках научного исследования.....	99
7.2.2. Определение трудоемкости выполнения работ	100
7.2.3. Разработка графика проведения научного исследования	101
7.3. БЮДЖЕТ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОГО ИССЛЕДОВАНИЯ.....	103
7.3.1. Расчёт прочих прямых затрат	104
7.3.2. Расчёт амортизационных отчислений.....	106
7.3.3. Заработная плата исполнителей.....	106
7.3.4. Дополнительная заработная плата исполнителей темы	108
7.3.5. Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления).....	109
7.3.6. Накладные расходы.....	109
7.4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РЕСУРСНОЙ, ФИНАНСОВОЙ, БЮДЖЕТНОЙ, СОЦИАЛЬНОЙ И ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	111
7.4.1. Определение ресурсоэффективности проекта	111
ВЫВОД ПО РАЗДЕЛУ	113
ОБЩИЕ ВЫВОДЫ	114
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	115

					Содержание	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		14

Введение

В настоящий момент природный газ, нефть и продукты ее переработки являются наиболее востребованными источниками энергии на планете. Большое количество этих ресурсов, а также производств по их переработке находятся на территории Российской Федерации, что обуславливает ее экономическое влияние на мировом рынке.

Вертикальные стальные резервуары (РВС) являются ответственными инженерными сооружениями, которые необходимы для хранения нефти и нефтепродуктов в резервуарных парках, а также играют важную роль в технологической системе трубопроводного транспорта нефти. Резервуары являются конструкциями повышенной опасности, так как аварии в резервуарных парках или на отдельно стоящих резервуарах приводят к уничтожению объектов и тяжелыми экологическими последствиями загрязнению нефтепродуктами почвы и водных объектов, разрушению самого аварийного резервуара, а также близко расположенных зданий и сооружений, загрязнение атмосферы продуктами горения. Согласно статистики ущерб от аварии резервуаров в 500 раз больше затрат на сооружение резервуара. Из-за этих особенностей контроль технического состояния РВС и их своевременный ремонт (текущий, капитальный) имеют большое значение при эксплуатации стальных резервуаров.

Значительное количество отказов различной степени тяжести на данных объектах техники связано со значительным сроком их эксплуатации. Так, по данным работы А.А. Тарасенко и др. [29], уже в 1997 году в системе трубопроводного транспорта свыше 3000 РВС находились в эксплуатации более 50 лет, 1000 РВС – от 40 до 50 лет. В ряде случаев отсутствует возможность замены резервуаров.

За последние 25-30 лет объем производства резервуаров в Российской

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Оценка влияния дефектов сварных соединений стенки и приемо-раздаточных патрубков на напряженно-деформированное состояние резервуара вертикального стального			
Разраб.		Кирченко Н.Н.			Введение	Лит.	Лист	Листов
Руковод.		Никольчиков А.В.					15	119
Консульт.						ТПУ гр.2Б7Б		
Рук-ль ООП		Брусник О.В.						

Федерации снизился примерно в два-три раза, в то же время происходит постоянное повышение объемов нефтедобычи [30]. Естественно, что при таких условиях процессы старения резервуаров интенсифицируются, а на первый план выходят вопросы по обеспечению надежности эксплуатируемых и вновь проектируемых конструкций.

При получении достоверных данных об отсутствии опасных повреждений и дефектов, эксплуатация резервуаров может быть продолжена. Одним из факторов, позволяющих определить техническое состояние резервуаров и необходимость их ремонта, является оценка его напряженно-деформированного состояния (НДС).

К наиболее опасным видам предельного состояния относится хрупкое разрушение, вызываемое в большинстве случаев наличием дефектов сплошности. Хотелось бы отметить, что в существующих отечественных нормативных документах давно не обновлялись требования к допускаемым дефектам сварных соединений.

Этими обстоятельствами обусловлена актуальность темы выпускной квалификационной работы, ее научная новизна и практическая значимость.

Объект исследования – резервуар вертикальный стальной типа РВС.

Целью работы является проведение оценки влияний дефектов сварных соединений стенки и приемо-раздаточных патрубков на напряженно-деформированное состояние резервуара вертикального стального.

Задачи, поставленные в ВКР, решаются при помощи метода конечных элементов.

Основные задачи исследования:

- анализ литературы по данной тематике;
- определение напряженно-деформированного состояния стенки резервуара в зоне врезки патрубка аналитическим методом расчета;
- создание трехмерной модели зоны врезки приемо-раздаточного патрубка (ПРП) в стенку резервуара РВС-20000;
- определение НДС стенки резервуара в зоне врезки патрубка

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

численным методом расчета и получение информации о достоверности созданной модели;

– создание трехмерной модели зоны врезки приемо-раздаточного патрубка (ПРП) в стенку резервуара РВС-20000 с дефектами сварного соединения;

– определение НДС модели зоны врезки ПРП в стенку РВС с дефектами сварного соединения;

– оценка суммарных напряжений при воздействии дефектов различной формы на сварное соединение стенки резервуара и приемо-раздаточного патрубка;

– определение способов борьбы с негативным воздействием дефекта сварного соединения стенки РВС и ПРП.

					<i>Введение</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		17

1. Аналитический обзор по теме выпускной работы

1.1. Конструктивные решения, технология изготовления и монтажа стальных вертикальных резервуаров для нефти и нефтепродуктов.

В соответствии с ГОСТ 31385-2016 «Резервуары вертикальные цилиндрические стальные для нефти и нефтепродуктов» резервуар – это наземное строительное сооружение, предназначенное для приема, хранения, измерения объема и выдачи жидкости [1].

Резервуары для хранения нефти и нефтепродуктов относятся к I-ому повышенному уровню ответственности сооружений согласно ГОСТ 27751 «Надежность строительных конструкций и оснований» [2] и СП 20.13330.2011 «Нагрузки и воздействия» [9].

В зависимости от объема хранимого продукта по ГОСТ 31385-2016 резервуары подразделяются на четыре класса опасности:

- класс I - резервуары объемом более 50000 м³;
- класс II - резервуары объемом от 20000 включительно до 50000 м³ включительно, а также резервуары объемом от 10000 до 50000 м³ включительно, расположенные непосредственно по берегам рек, крупных водоемов и в черте городской застройки;
- класс III - резервуары объемом от 1000 и менее 20000 м³;
- класс IV - резервуары объемом менее 1000 м³.

По конструктивным особенностям вертикальные цилиндрические резервуары делятся на следующие типы:

- резервуар со стационарной крышей без понтона (Рисунок 1.1 а);
- резервуар со стационарной крышей с понтоном (Рисунок 1.1 б);
- резервуар с плавающей крышей (Рисунок 1.1 в);
- резервуар с защитной стенкой.

Схемы резервуаров представлены на рисунке 1.1.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Оценка влияния дефектов сварных соединений стенки и приемо-раздаточных патрубков на напряженно-деформированное состояние резервуара вертикального стального			
Разраб.		Кирченко Н.Н.			Аналитический обзор по теме выпускной работы	Лит.	Лист	Листов
Руковод.		Никulichиков А.В.					18	119
Консульт.						ТПУ гр. 257Б		
Рук-ль ООП		Брусник О.В.						

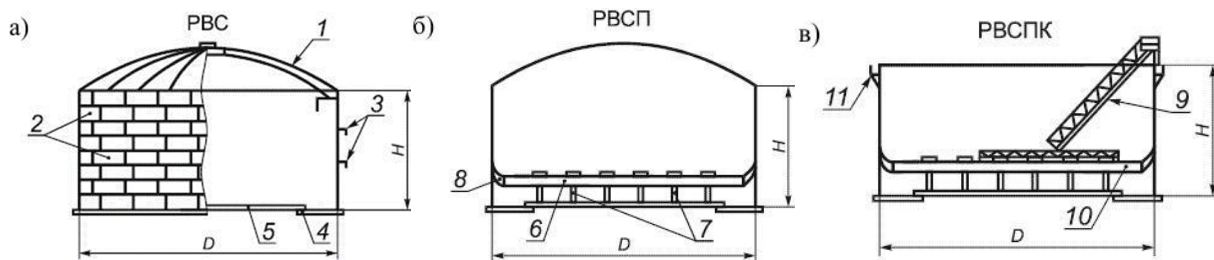


Рисунок 1.1 – Типы резервуаров: а) РВС; б) РВСП; в) РВСПК; 1 – каркас крыши; 2 – пояса стенки; 3 – промежуточные кольца жесткости; 4 – кольцо окраек; 5 – центральная часть днища; 6 – понтон; 7 – опорные стойки; 8 – уплотняющий затвор; 9 – катушечная лестница; 10 – плавающая крыша; 11 – верхнее кольцо жесткости (площадка обслуживания)

К основным несущим конструкциям резервуара относятся: стенка, включая врезки патрубков и люков, окрайка днища, бескаркасная крыша, каркас и опорное кольцо каркасной крыши, анкерное крепление стенки, кольца жесткости.

К ограждающим конструкциям резервуара относятся: центральная часть днища, настил стационарной крыши, плавающая крыша, понтон.

В соответствии с Руководством по безопасности вертикальных цилиндрических стальных резервуаров для нефти и нефтепродуктов резервуары также рекомендуется разделять по методам изготовления и монтажа.

По методам изготовления и монтажа (рисунок 1.2) листовых конструкций (стенки, днища, настила стационарных крыш, мембраны понтонов и плавающих крыш):

- резервуары рулонной сборки, листовые конструкции которых изготавливаются и монтируются в виде рулонизируемых полотнищ;
- резервуары полистовой сборки, изготовление и монтаж всех листовых конструкций которых ведется из отдельных листов;
- резервуары комбинированной сборки, часть листовых конструкций которых изготавливается и монтируется из отдельных листов, а часть – в виде рулонизируемых полотнищ.



а) □



б) □



в) □ □

Рисунок 1.2 - Методы изготовления и монтажа вертикальных цилиндрических резервуаров (а - метод рулонирования, б - листовая метод, в - комбинированный метод)

Метод рулонирования является одним из наиболее индустриальных и эффективных способов возведения вертикальных резервуаров. В методе рулонирования основные листовые элементы конструкции (стенка, днище, кровля и др.) изготавливаются в виде полотнищ, которые собираются и свариваются из предварительно обработанных листов размером 1500x6000 мм (рисунок 1.3)



Сборка и сварка полотнища стенки на открытой заводской площадке



Сборка и сварка полотнища стенки в цеховых условиях

Рисунок 1.3 - Изготовление рулонизируемых полотнищ

Для удобства транспортировки изготовленные полотнища сворачивают в габаритные рулоны (рисунок 1.4) на специализированном стенде (см. рисунок 1.6) и поставляются на место монтажа. Сворачивание полотнищ производится на специальный каркас (рисунок 1.5) или входящую в состав конструкции шахтную лестницу диаметром не менее 2,6 м, которая

обеспечивает жесткость рулона в период транспортировки и погрузочно-разгрузочных работ.

Максимальная высота рулонов составляет 18 м, а вес зависит от грузоподъемности подвижного состава.



*Рисунок 1.4 –
Полотнище стенки
в виде рулона*



*Рисунок 1.5 – Общий
вид каркаса
жесткости рулона*



*Рисунок 1.6 – одноярусный
стенд*

Основные элементы конструкции резервуара транспортируют автомобильным, железнодорожным (рисунок 1.7) или другим видом транспорта. Транспортное средство подбирают с учетом: размеров (длина, ширина, высота) и веса. При автоперевозке в качестве прицепа используются низкорамные платформы большой грузоподъемности, оснащенные упорными рамами с большим запасом прочности и дополнительно оснащенные ребрами жесткости при перевозке негабаритного резервуара. При ж/д перевозках рулоны транспортируются на четырехосных железнодорожных платформах грузоподъемностью 60 т.



а)



б)

Рисунок 1.7 - Отгрузка основных элементов резервуаров в виде рулонных заготовок: а) отгрузка автомобильным транспортом; б) отгрузка ж/д транспортом

					Аналитический обзор по теме выпускной работы	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		21

После доставки рулонов до строительной площадки начинаются монтажные работы. Монтажные работы по возведению вертикальных цилиндрических резервуаров делятся на пять этапов: монтаж днища, монтаж корпуса, монтаж несущих конструкций покрытия, монтаж настила кровли и монтаж оборудования. Все конструктивные элементы монтируются в предусмотренном положении, соединяются временными креплениями и свариваются.

Анализируя классификацию резервуаров, можно сделать вывод о большой номенклатуре их различных типов и назначений. Это связано с тем, что область применения стальных вертикальных резервуаров довольно широка, она охватывает пищевую и химическую, горнодобывающую промышленности, а также нефтегазовый комплекс.

В климатических условиях России необходимо обязательно учитывать такие специфические условия эксплуатации резервуаров как температурные колебания, высокие снеговые и ветровые нагрузки, сейсмические воздействия, а также особенности вечномёрзлых и других сложных типов грунтов, которые оказывают больше влияние на работу конструкций резервуара.

Эти условия должны быть учтены на всех стадиях производства резервуаров: проектирование, изготовление, монтаж и эксплуатация. Они отражаются и в методике расчета конструкций.

1.2. Характер и причины отказов стальных вертикальных резервуаров.

В диссертационной работе А.В. Никишина [15] отмечены следующие закономерности: увеличение числа внезапных отказов РВС (см. рисунок 1.8), увеличение объема и стоимости ремонтных работ. Проведенные исследования [31] показывают, что основной причиной резкого снижения уровня эксплуатационной надежности и эффективности РВС является изношенность основных фондов.

					Аналитический обзор по теме выпускной работы	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		22

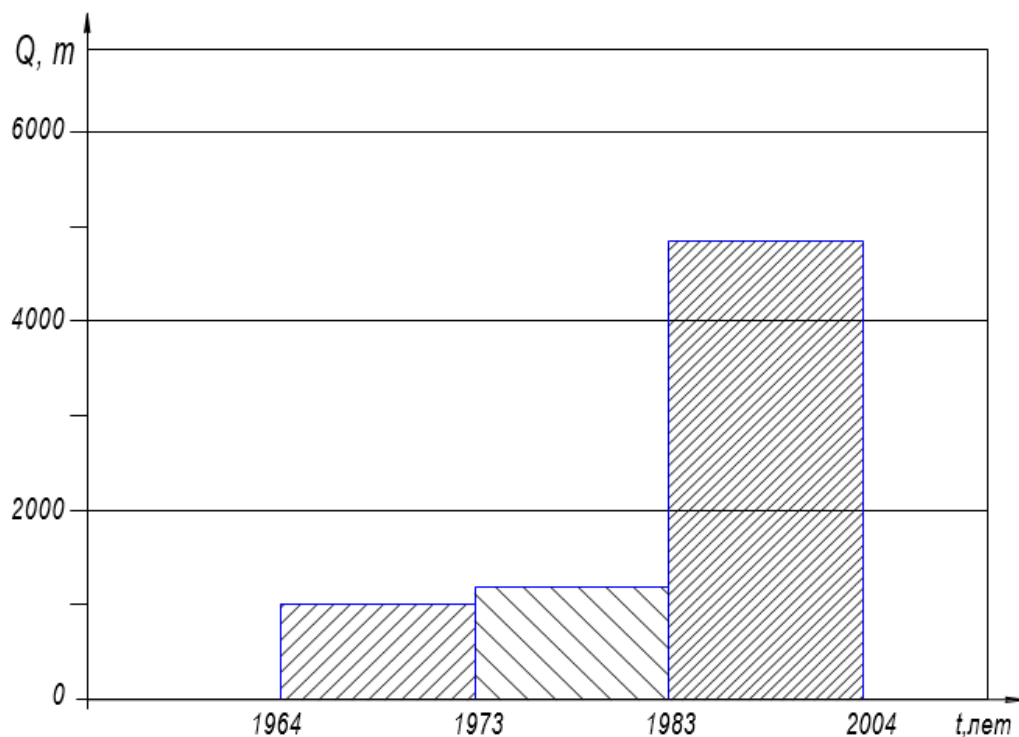


Рисунок 1.8 – Динамика аварийности РВС (по совокупной массе конструкций) за период с 1964 по 2004 гг. [14]

По данным [32] определяющими факторами аварий РВС являются:

- высокая пожаровзрывоопасность хранимых продуктов,
- крупные размеры конструкций и связанная с этим протяженность сварных швов, которые трудно проконтролировать по всей длине,
- несовершенства геометрической формы, неравномерные просадки оснований,
- большие перемещения стенки, особенно в зонах геометрических искажений проектной формы,
- высокая скорость коррозионных повреждений,
- малоцикловая усталость отдельных зон стенки конструкции,
- сложный характер нагружения конструкции в зоне уторного шва в сочетании с практическим отсутствием контроля сплошности этих сварных соединений.

На рисунке 1.9 представлена диаграмма причин отказов РВС .



Рисунок 1.9 – Диаграмма причин отказов РВС

Как показывает практика, аварии РВС в большинстве случаев сопровождаются значительными потерями нефтепродуктов, загрязнением местности и гибелью людей (рисунок 1.10). В экстремальных случаях среднестатистический общий материальный ущерб превышает в 500 и более раз первичные затраты на сооружение резервуаров. Поэтому есть основания считать, что на сегодняшний день вопрос обеспечения надежности резервуарных конструкций остается нерешенным. [32]



Рисунок 1.10 – Разрушение резервуара с последующим разливом нефти в Мраморное море

Статистические данные говорят о том, что наибольшая часть дефектов стальных вертикальных резервуаров – это «монтажные» дефекты, т.к. на их возникновение большое влияние оказывает человеческий фактор, который в наименьшей степени поддается управлению (рисунок 1.11).

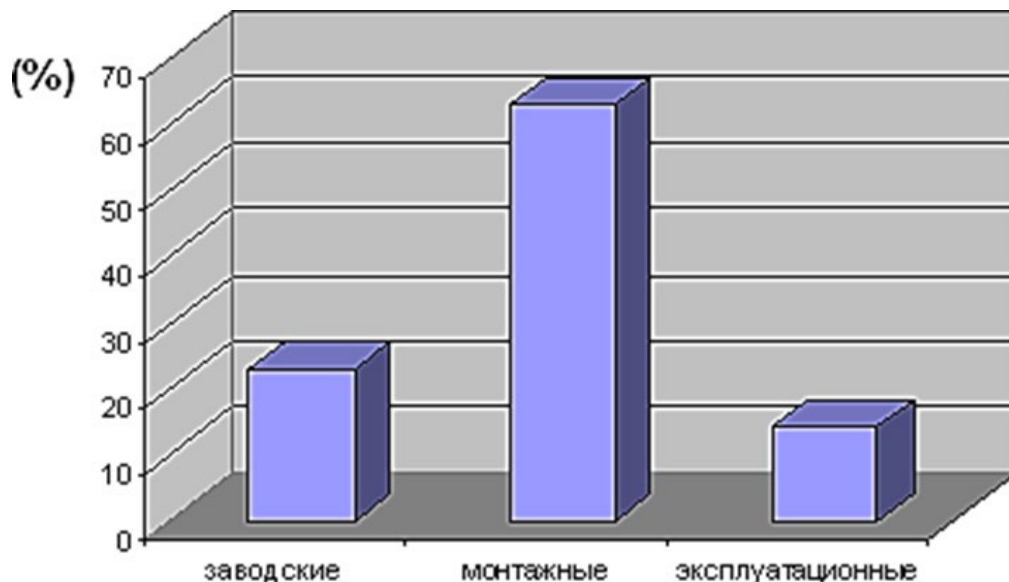


Рисунок 1.11 – Распределение дефектов РВС по происхождению
 На рисунках 1.12 – 1.15 приведены примеры типичных дефектов в стенке РВС.



Рисунок 1.12 – Подрезы сварного шва



Рисунок 1.13 – Скопление пор



Рисунок 1.14 – Трещина вдоль сварного шва

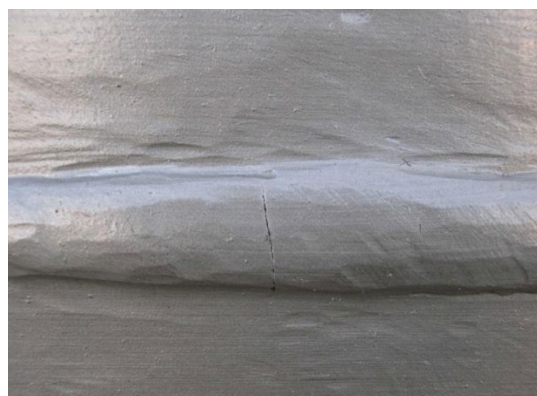


Рисунок 1.15 – Трещина поперек сварного шва

Анализ статистических данных за последние 30 лет показал, что наиболее распространенными авариями резервуаров являются хрупкое разрушение (19,7%), затем – конструктивные концентраторы (13,64%).

					Аналитический обзор по теме выпускной работы	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		25

Места соединений патрубков и стенок также имеют значительное число повреждений (10,5%). Поэтому для исследования практический интерес представляет вопрос изучения причин возникновения, последствий и мероприятий по предотвращению данного вида разрушений. [32]

В качестве характерного примера ресурсного отказа РВС можно привести разрушение резервуара объемом 5000 м³ в районе города Красноярск в январе 1983 г. В момент аварии температура окружающего воздуха была –34°С. Резервуар был смонтирован методом рулонирования и находился в эксплуатации 8 лет. В данном случае трещина произошла в сварном шве корпуса люк-лаза. При внешнем осмотре было установлено, что сварка корпуса люка-лаза проведена без вывода кратера сварного шва на технологическую прокладку. В результате чего образовался непровар, который послужил причиной возникновения области повышенной концентрации напряжения. Появлению хрупкой трещины способствовали низкая температура окружающего воздуха и концентрация напряжения около отверстия в стенке резервуара, в которую вварен корпус люка-лаза. Неправильное размещение корпуса люка-лаза привело к тому, что сварной шов с дефектом оказался в области максимальной концентрации напряжения. Развитие хрупкой трещины сопровождалось разрушением корпуса люка-лаза с одновременным переходом на основной металл стенки резервуара (рис.1.16). В результате края стенки резервуара потеряли устойчивость и раскрылись под действием гидростатического давления. Через образовавшееся в стенке отверстие произошел выброс продукта, что привело в дальнейшем к разрыву стенки резервуара

					Аналитический обзор по теме выпускной работы	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		26

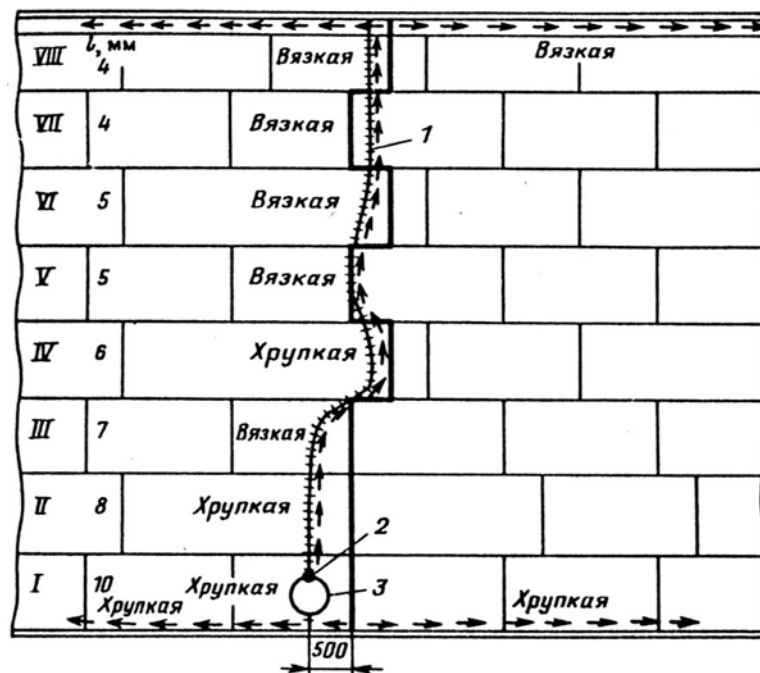


Рисунок 1.16 - Фрагмент развертки стенки резервуара с траекторией трещины: 1- траектория трещины; 2-сварной шов корпуса люк-лаза; 3-люк-лаз.

Можно считать, что непосредственной причиной разрушения резервуара является концентратор напряжения в корпусе люка-лаза, вызванный тем, что при его сварке кратер не был выведен на технологическую прокладку, то есть не были соблюдены требования при сварке к основному металлу люка-лаза.

Изучая статистику разрушений резервуаров, можно отметить, что на практике большинство хрупких разрушений РВС возникает от сварочных дефектов или трещин малоциклового усталости, возникающих вблизи мест концентрации напряжений. Характерными местами разрушений являются технологические отверстия, уторные и монтажные соединения.

Первый статистический анализ факторов, приводящих к разрушению сварных конструкций при низком уровне напряжений, выполнил Международный институт сварки (МИС). Так как любая фирма стремится скрыть факт разрушения ее продукции, МИС провел анонимные общественные исследования, разослав анкету с конкретными вопросами об имевших место разрушениях. К 1970 г. было получено 132 анкеты, из них 60 достаточно полных. Результаты статистической обработки этих анкет

приведены в таблице 1.2. В анкете в качестве причин аварии было выделено 17 факторов, номера и наименования которых указаны в 1-й и 2-й колонках таблицы; в 3-й приводится количество аварий, где среди причин указывается наличие этого фактора, а в 4-й – частота его появления в анкетах.

Таблица 1.2 - Статистическая характеристика факторов, указываемых среди причин аварии

Наименование фактора	Количество случаев	Частота, %
1) Конструктивные концентраторы	18	13,6
2) Усталостные трещины	9	6,8
3) Коррозионные трещины	1	0,78
4) Технологические надрезы (кроме сварочных)	9	6,8
5) Трещины в зоне термического влияния	3	2,5
6) Трещины в металле шва	2	1,6
7) Другие дефекты сварки (поры, непровары и т. п.)	9	6,8
8) Внешняя нагрузка (перегрузка конструкции)	8	6,1
9) Термические напряжения	6	4,5
10)Пониженная ударная вязкость основного металла	26	19,7
11)Остаточные напряжения	17	12,9
13)Старение металла и его наклеп	14	10,6
14)Неправильная термообработка	3	2,3
15)Дефекты закалки и отпуска	1	0,78

Как видно из таблицы, наиболее часто встречается фактор № 10 - пониженная ударная вязкость основного металла. Однако он фигурирует только в одном случае из каждых пяти аварий и не может считаться определяющим. Три следующих по частоте появления фактора (№ 1 - конструктивные концентраторы, № 11 - остаточные напряжения, № 13 - старение металла и его наклеп) появляются только в одном случае из 8-10 аварий. Остальные 12 факторов, перечисленных в таблице, встречаются гораздо реже.

Для повышения надежности и долговечности резервуаров на стадии проектирования в соответствии с ПБ 03-605-03 «Правила устройства вертикальных цилиндрических стальных резервуаров для нефти и нефтепродуктов» [12] должны предъявляться повышенные требования к сварным соединениям стальных вертикальных резервуаров.

1.3. Конструкция места сварного соединения приемо-раздаточных патрубков и стенки РВС

Согласно ГОСТ 31385-2016 «Резервуары вертикальные цилиндрические стальные для нефти и нефтепродуктов. Общие технические условия» и СТО-СА-03-002-2009 «Правила проектирования, изготовления и монтажа вертикальных цилиндрических стальных резервуаров для нефти и нефтепродуктов» [7] установка патрубков и люков в стенке, с учетом конструктивных решений, мест расположения, применяемых материалов не должна снижать показатели прочности, герметичности, надежности и долговечности резервуара. Для изготовления патрубков и люков должны использоваться бесшовные или прямошовные трубы и изготовленные из вальцованного листа обечайки.

Отверстия в стенке для установки патрубков и люков должны быть усилены листовыми накладками (усиливающими листами), располагаемыми по периметру отверстия. Допускается установка патрубков условным проходом до 65 мм включительно в стенке толщиной не менее 6 мм без усиливающих листов.

Наружный диаметр DR усиливающего листа должен находиться в пределах $1,8 D_0 \leq DR \leq 2,2 D_0$, где D_0 - диаметр отверстия в стенке.

Толщина усиливающего листа должна быть не менее толщины соответствующего листа стенки, исключая припуск на коррозию, и не должна превышать толщину листа стенки более чем на 5 мм. Кромки усиливающего листа толщиной, превышающей толщину листа стенки, должны быть скруглены или обработаны в соответствии с рисунками 1.17, 1.18. Рекомендуется толщину усиливающего листа принимать равной толщине стенки.

					Аналитический обзор по теме выпускной работы	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		29

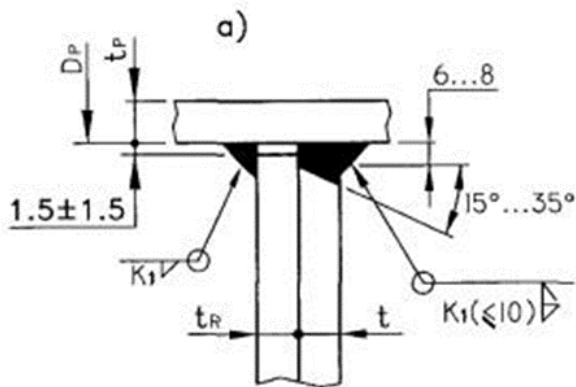


Рисунок 1.17– Соединение обечайки (трубы) со стенкой и усиливающим листом

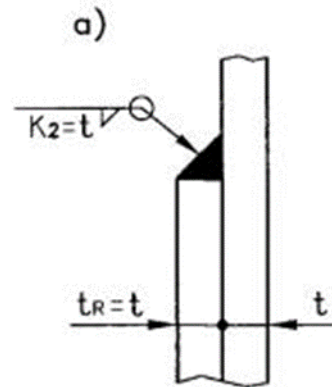


Рисунок 1.18 – Соединение усиливающего листа со стенкой

Катет (K_2) углового шва крепления усиливающего листа к стенке резервуара должен быть равен толщине более тонкой детали в соединении, но не более 38 мм.

В одном листе стенки могут располагаться не более четырех врезок с условным проходом более 300 мм. Расстояния от привариваемых к стенке резервуара деталей патрубков или люков (труб, обечайек, усиливающих листов) до оси горизонтальных швов стенки или до днища резервуара (кроме варианта конструктивного исполнения усиливающего листа, достигающего до днища) должны быть не менее 100 мм, а до оси вертикальных швов стенки - не менее 250 мм. Расстояния между привариваемыми к стенке резервуара деталями смежных патрубков и люков (трубами, обечайками, усиливающими листами) должны быть не менее 250 мм.

Допускается установка патрубков и люков с пересечением сварных швов стенки (горизонтальных и вертикальных) в соответствии с рисунком 1.19, при этом пересекаемый шов должен быть подвергнут радиографическому контролю на длине не менее трех диаметров отверстия в стенке симметрично относительно вертикальной или горизонтальной оси патрубка или люка.

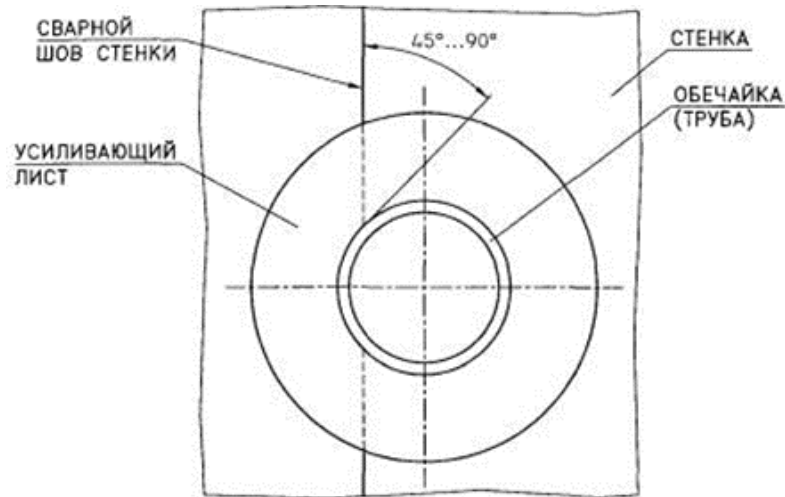


Рисунок 1.19 – Установка патрубков и люков в местах пересечения со сварными швами стенки (вертикальными или горизонтальными)

Наиболее ответственными, в части обеспечения надежности резервуара, являются патрубки приема и раздачи продукта, располагаемые в непосредственной близости с днищем в зоне вертикального изгиба стенки и воспринимающие значительные технологические и температурные нагрузки от присоединяемых трубопроводов.

Рекомендуются патрубки в стенке условным проходом 50; 80; 100; 150; 200; 250; 300; 350; 400; 500; 600; 700 мм.

Конструктивное исполнение патрубков должно соответствовать рисункам 1.17; 1.18, 1.19, 1.20; 1.21; 1.22, 1.23.

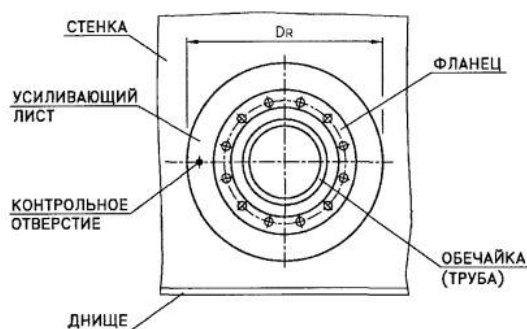


Рисунок 1.20 – Общий вид патрубка с круглым усиливающим элементом

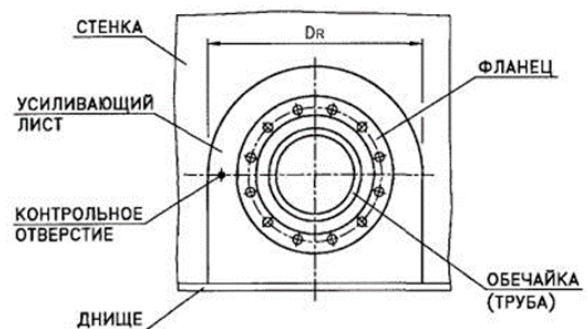


Рисунок 1.21 – Общий вид патрубка с усиливающим элементом до днища

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

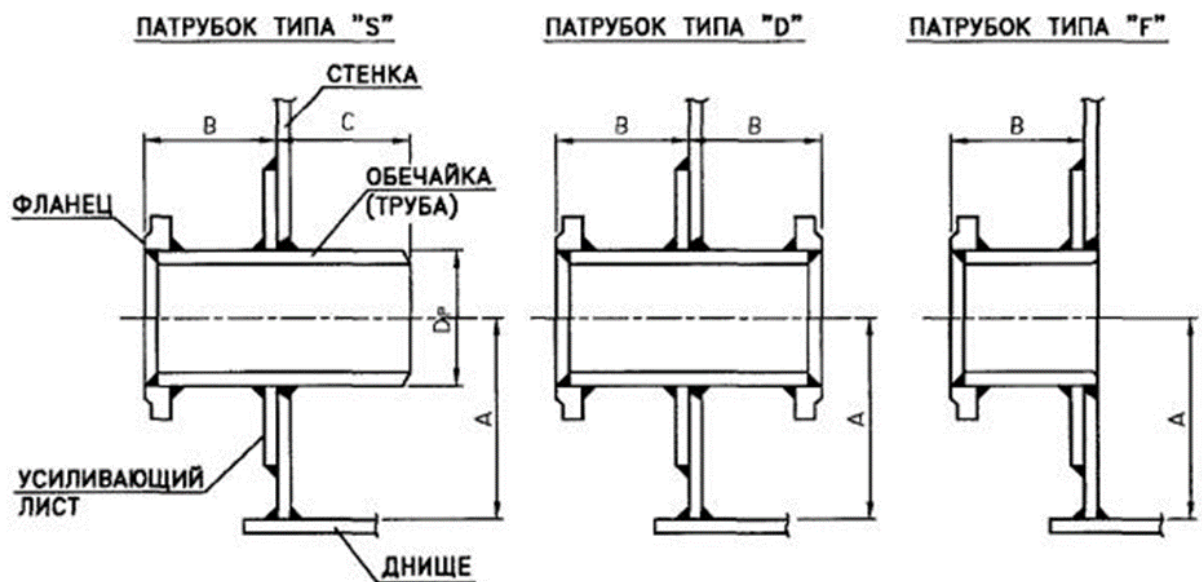


Рисунок 1.22 – Основные типы патрубков в разрезе

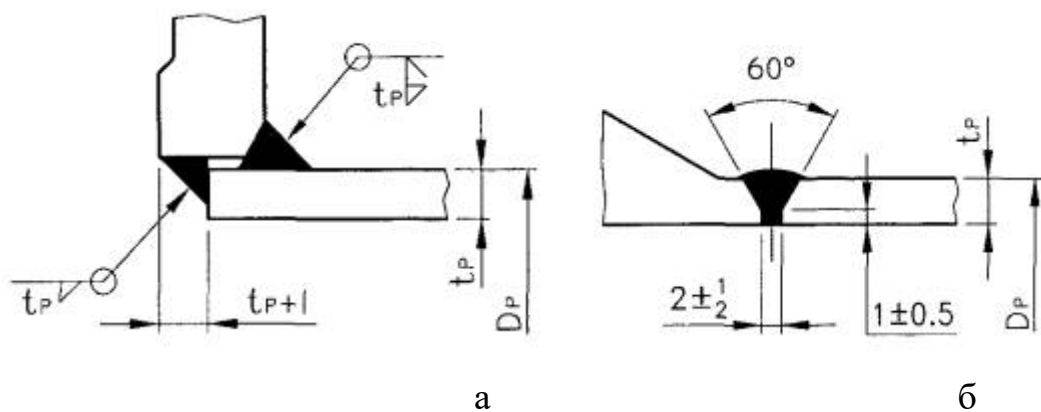


Рисунок 1.23 – Соединение фланца и патрубка с обечайкой (трубой): а) по ГОСТ 12820; б) по ГОСТ 12821

Выводы по главе

Дефекты сплошности материала являются неотъемлемой составляющей сварного соединения, которые при наличии риска усталостного и хрупкого разрушения определяют эксплуатационный ресурс и надежность вертикального резервуара. Доля отказов, обусловленных низким качеством сварных соединений, составляет не менее 20%. Кроме того, довольно большая часть дефектных сварных соединений приходится на узел врезки приемо-раздаточного патрубка и стенки резервуара стального вертикального резервуара, который и без того находится в сложном напряженно деформированном состоянии. Также работа сварного соединения в зоне соединения ПРП и стенки резервуара осложняется наложением остаточных напряжений большой величины.

В настоящее время эксплуатируется большое количество стальных вертикальных резервуаров, основная часть которых возводилась по действующим на тот момент нормативным документам, которые в настоящий момент утратили юридическую силу. В действующих ранее документах были более низкие требования к качеству сварных соединений и объемам их контроля. А значит, данные резервуары заведомо находятся в опасном состоянии.

Для того, чтобы оценить ремонтпригодность резервуаров необходимо с достаточно высокой точностью понимать в каком состоянии находятся их наиболее нагруженные узлы.

Одним из наиболее нагруженных и сложно-деформированных элементов резервуара является узел врезки приемо-раздаточного патрубка, ввиду его расположения в зоне технологического отверстия – конструктивного концентратора напряжений.

					Аналитический обзор по теме выпускной работы	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		33

2. Определение напряженно-деформированного состояния резервуара аналитическим методом расчета

Анализ напряженно-деформированного состояния резервуара при наличии дефектов врезки ПРП в стенку является не осуществимой для аналитического способа расчета. В таких случаях аналитический способ вычисления НДС является некорректным, так как невозможно получить адекватные результаты реального состояния конструкций резервуаров. При таковых обстоятельствах рекомендуется использовать численные методы расчета НДС, основа которых состоит в конечно-элементной реализации рассматриваемых объектов в программном комплексе. Применение численного метода расчета реализовано в следующих главах, однако для того чтобы оценить их достоверность, произведем аналитический расчет НДС стенки резервуара в зоне врезки приемо-раздаточного патрубка.

2.1. Характеристика объекта исследования

К числу наиболее распространенных РВС, эксплуатируемых на территории Российской Федерации, относятся резервуары объемом до 20000 м³. Монтаж таких резервуаров производится на строительной площадке методом рулонирования, что означает наличие в них дефектов сварных швов и остаточных сварочных напряжений в вертикальном шве, существенно влияющих на их напряженно-деформированное состояние. В настоящей работе рассматривается стальной вертикальный резервуар объемом 20000 м³ в созданный по типовому проекту 704-1-60 (рисунок 2.1). Основные характеристики резервуара представлены в таблице 2.1. Материалом резервуара является сталь 09Г2С класс прочности 345 [4]. Основные характеристики стали представлены в таблице 2.2 [33].

					Оценка влияния дефектов сварных соединений стенки и приемо-раздаточных патрубков на напряженно-деформированное состояние резервуара вертикального стального			
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата				
Разраб.		Кирченко Н.Н.			Определение напряженно-деформированного состояния резервуара аналитическим методом расчета	Лит.	Лист	Листов
Руковод.		Никольчиков А.В.					34	119
Консульт.						ТПУ гр. 2Б7Б		
Рук-ль ООП		Брусник О.В.						

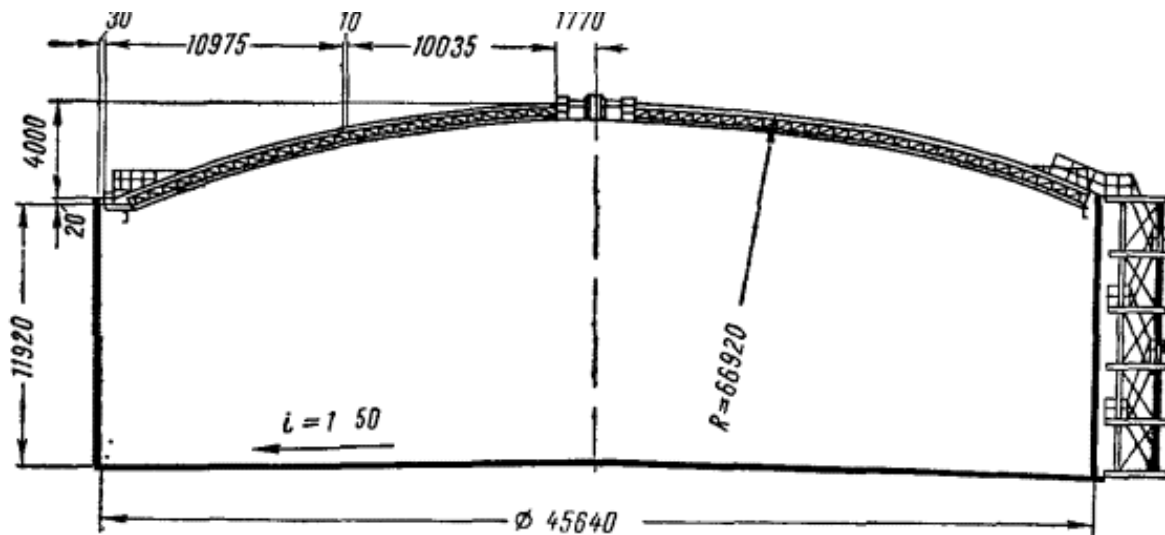


Рисунок 2.1 – - Общий вид исследуемого стального вертикального резервуара

Таблица 2.1 – Исходные данные

Материал резервуара	09Г2С
Плотность нефти (ρ) (СИМВОЛЫ)	730 кг/м ³
Радиус стенки резервуара (r)	22820 м
Высота стенки резервуара (h _р)	11,92 м
Уровень разлива (h)	10,5 м
Толщина 1-ого пояса (δ_1)	0,014 м
Толщина 2-ого пояса (δ_2)	0,012 м
Толщина 3-8-ого пояса (δ_3 - δ_8)	0,010 м

Таблица 2.2 – Механические характеристики стали 09Г2С

Характеристика	Значение
Модуль упругости, E (МПа)	$2,1 \cdot 10^5$
Коэффициент Пуассона, μ	0,3
Плотность, $\rho_{ст}$ (кг/м ³)	7850
Условный предел текучести, σ_t (МПа)	345
Предел прочности, σ_b (МПа)	480

Конструкция врезки приемно-раздаточного патрубка в РВС перенесена с типового проекта резервуара 704-1-60 (рис.2.2). Патрубок выполнен из бесшовной трубы, изготовленной из вальцованного листа обечайки, диаметром 500 мм. Патрубок оснащен ребрами жесткости толщиной 10 мм.

					Определение напряженно-деформированного состояния резервуара аналитическим методом расчета	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		35

Расстояние от патрубка до днища резервуара составляет 700 мм. Согласно СТО-СА-03-002-2009 «Правила проектирования, изготовления и монтажа вертикальных цилиндрических стальных резервуаров для нефти и нефтепродуктов» отверстие в стенке для установки патрубков усилено листовой накладкой (усиливающим листом), располагаемой по периметру отверстия. Диаметр усиливающего листа составляет 1070 мм, его толщина равна толщине стенки, то есть равна 14 мм.

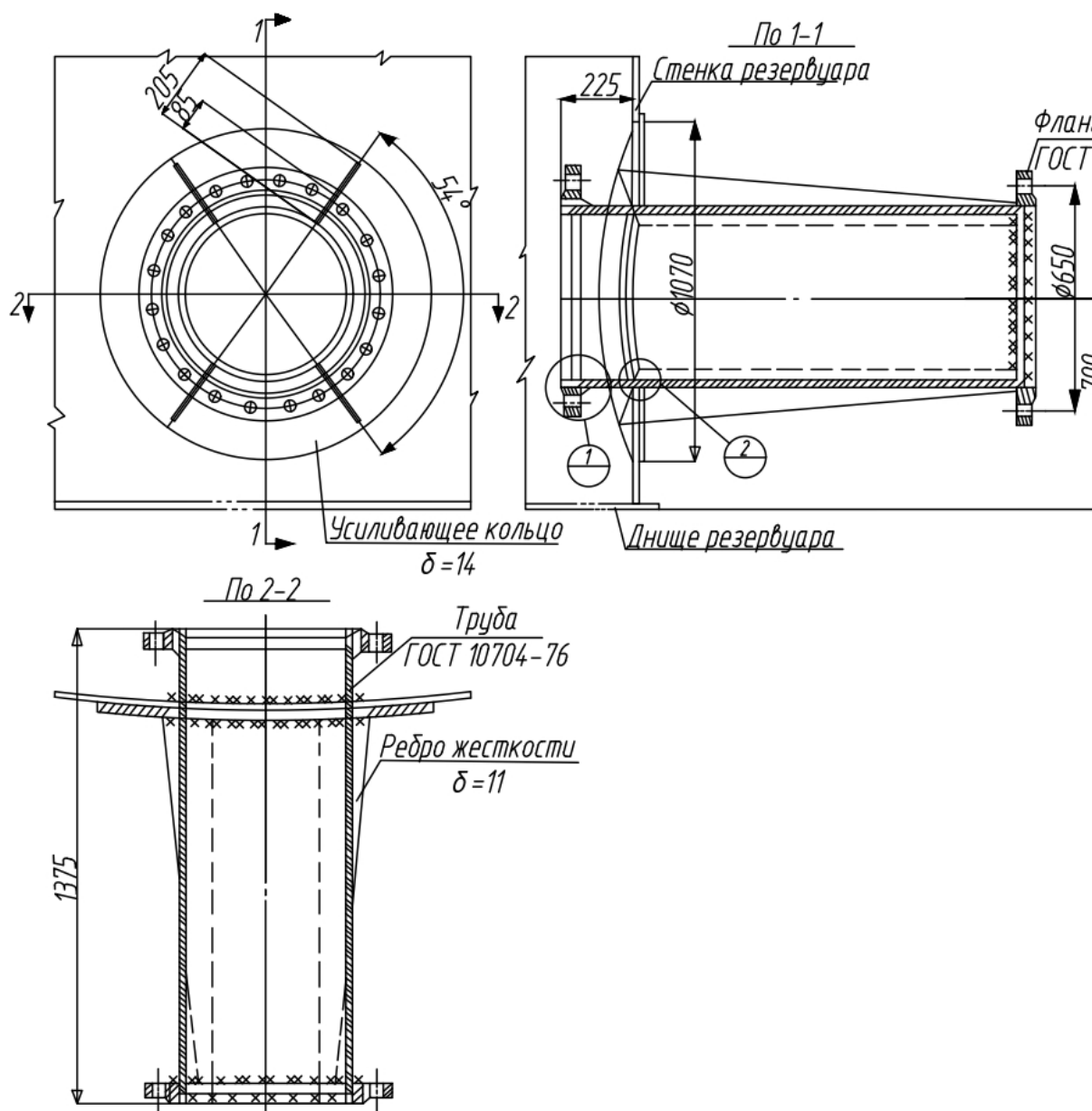


Рисунок 2.2 – Габаритные размеры и расположение приемо-раздаточного патрубка

					Определение напряженно-деформированного состояния резервуара аналитическим методом расчета	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		36

2.2. Воздействия и нагрузки на РВС-20000

Нагрузки и воздействия, действующие на конструкцию рассматриваемого вертикального стального резервуара, показаны на рисунке 2.3.

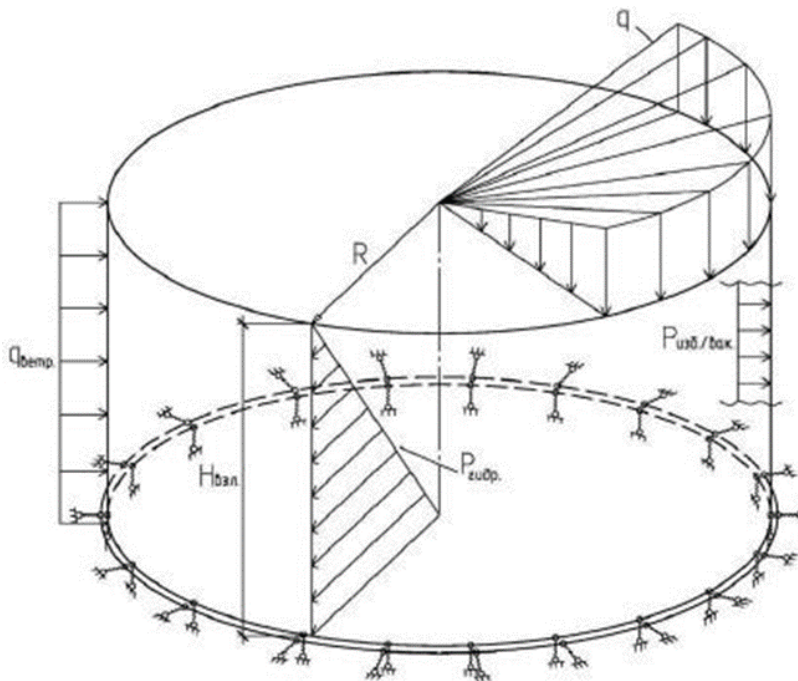


Рисунок 2.3 – Схема нагрузок и воздействий на РВС-20000

где R – радиус резервуара, м;

$H_{взл.}$ – проектная высота взлива продукта;

$q_{ветр.}$ – нагрузка от ветрового давления;

$P_{гидр.}$ – гидростатическая нагрузка;

$P_{изб./вак.}$ – рабочие значения избыточного давления или вакуума в газовом пространстве РВС;

q – суммарная нагрузка от действия давления снегового покрова и силы стационарного оборудования, установленного на крыше резервуара.

В ходе исследования будем учитывать лишь собственный вес стенки, собственный вес крыши, собственный вес опорного кольца, гидростатическое давление, оказываемое на стенку и днище средой плотностью 730 кг/м^3 и высотой заполнения $10,5 \text{ м}$ при температуре окружающего воздуха $-30 \text{ }^\circ\text{C}$. Обусловлено это тем, что другие нагрузки являются незначительными в

					Определение напряженно-деформированного состояния резервуара аналитическим методом расчета	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		37

сравнении с принятыми. Масса элементов крыши и стенки представлена в таблице 2.3.

Таблица 2.3 – Масса конструкций РВС-20000

Масса стенки 1-го пояса, т	Масса стенки 2-го пояса, т	Масса стенки 3-8-го пояса, т	Масса крыши, т	Масса опорного кольца, т
21,86	18,50	33,53	98,04	20,23

2.3. Аналитический расчет НДС резервуара в зоне врезки патрубка

Расчет произведем согласно методики, разработанной А.А. Тарасенко и Н. В. Николаевым [34].

С целью оценки влияния жесткого сопряжения технологических трубопроводов со стенкой резервуара на деформацию элементов резервуара авторами была рассмотрена задача изгиба длинной оболочки под воздействием сосредоточенной радиально направленной силы.

Стенка резервуара была представлена в виде системы бесконечного множества взаимосвязанных круговых колец, нагруженных элементарной нагрузкой в плоскости кольца.

Обозначим радиальные смещения оболочки w и расположим оболочку в системе координат так, что ось x совпадает с образующей срединной поверхности, ось w совпадает с радиусом, а начало координат совпадает с точкой приложения силы P . Положение исследуемой точки фиксируется углом φ (рис.2.4).

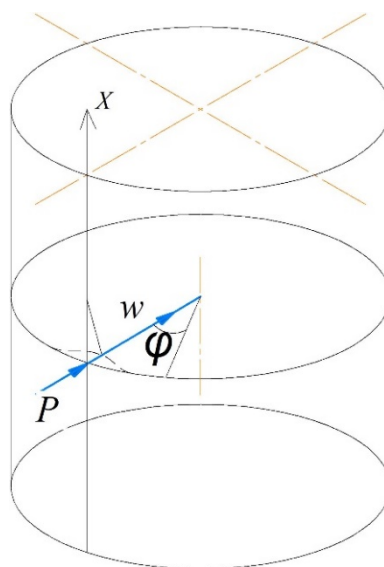


Рисунок 2.4 – Расчетная схема оболочки

					Определение напряженно-деформированного состояния резервуара аналитическим методом расчета	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		38

Предположим, что влияние силы P в направлении оси x на деформации произвольного кольца на расстоянии x от начала координат эквивалентно влиянию $q(x)dx = w(x,0)k_0$ тогда функция $q(x)$ найдется из уравнения:

$$D \frac{d^4 w}{dx^4} + k_0 w = 0, \quad (1)$$

где $D = \frac{E\delta}{12(1-\mu^2)}$ – цилиндрическая жесткость оболочки; k_0 – реакция кольца, соответствующая единичному радиальному смещению кольца в точке приложения силы; δ – толщина оболочки.

Для определения радиальных смещений кольца, имея ввиду, что сосредоточенная радиальная сила уравнивается касательными усилиями, распределенными по закону (рис.2.5):

$$\tau = -\frac{q(x)dx}{\pi r} \sin \varphi,$$

воспользуемся решением, приведенным в [35] согласно которому:

$$w(x, \varphi) = \frac{w(x,0)k_0 r^3}{2\pi D} \left[-1 + \frac{1}{2}(\pi - \varphi) \sin \varphi + \frac{1}{2} \left(\frac{\pi^2}{3} - \frac{3}{4} - \pi\varphi + \frac{\varphi^2}{2} \right) \cos \varphi \right], \quad (2)$$

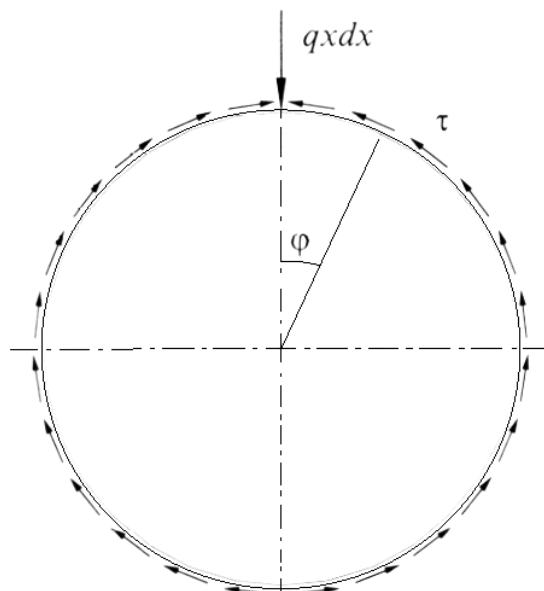


Рисунок 2.5 – Схема действия радиальной силы и касательных усилий

Тогда величина k_0 найдется из условия: при $\varphi = 0$, $w(x, \varphi) = 1$

					Определение напряженно-деформированного состояния резервуара аналитическим методом расчета	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		39

$$\frac{k_0 r^3}{2\pi D} = \left[-1 + \frac{1}{2} \left(\frac{\pi^2}{3} - \frac{3}{4} \right) \right] = 1 \text{ или } k_0 = \frac{48\pi D}{r^3 (4\pi^2 - 33)}, \quad (3)$$

Здесь r – радиус срединной поверхности оболочки. Решение уравнения (1) известно и имеет вид:

$$w(x, 0) = \frac{P}{8\alpha^3 D} e^{-\alpha x} (\cos \alpha x + \sin \alpha x), \quad (4)$$

где $\alpha = \sqrt{\frac{k_0}{4D}}$. С учетом (2) и (3) выражение для радиальных смещений

оболочки в произвольной точке с координатами (x, φ) запишем в виде:

$$w(x, \varphi) = \frac{3P}{\alpha^3 D (4\pi^2 - 33)} e^{-\alpha x} (\cos \alpha x + \sin \alpha x) K_w, \quad (5)$$

где $K_w = -1 + \frac{1}{2}(\pi - \varphi) \sin \varphi + \frac{1}{2} \left(\frac{\pi^2}{3} - \frac{3}{4} - \pi\varphi + \frac{\varphi^2}{2} \right) \cos \varphi$.

Для кольцевых смещений (согласно [35]) имеем:

$$v(x, \varphi) = \frac{3P}{\alpha^3 D (4\pi^2 - 33)} e^{-\alpha x} (\cos \alpha x + \sin \alpha x) K_v, \quad (6)$$

где $K_v = (\pi - \varphi)(1 - \cos \varphi) + \frac{1}{2} \left(\frac{\pi^2}{3} - \frac{11}{4} - \pi\varphi + \frac{\varphi^2}{2} \right) \sin \varphi$.

Для изгибающих моментов с учетом

$$M_x = -D \left[\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\mu}{r^2} \left(\frac{\partial v}{\partial \varphi} + \frac{\partial^2 w}{\partial \varphi^2} \right) \right], \quad (7)$$

$$M_\varphi = -D \left[\frac{1}{r^2} \left(\frac{\partial v}{\partial \varphi} + \frac{\partial^2 w}{\partial \varphi^2} \right) + \mu \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \right], \quad (8)$$

запишем

					Определение напряженно-деформированного состояния резервуара аналитическим методом расчета	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		40

$$M_x = \frac{3P}{\alpha^3 (4\pi - 33)} e^{-\alpha x}.$$

$$\left\{ \left[2\alpha^2 K_w - \frac{\mu}{r^2} (K_v' + K_w'') \right] \cos \alpha - \left[2\alpha^2 K_w + \frac{\mu}{r^2} (K_v' + K_w'') \right] \sin \alpha \right\}, \quad (9)$$

$$M_\varphi = \frac{3P}{\alpha^3 (4\pi - 33)} e^{-\alpha x}.$$

$$\left\{ \left[2\alpha^2 \mu K_w - \frac{1}{r^2} (K_v' + K_w'') \right] \cos \alpha - \left[\frac{1}{r^2} (K_v' + K_w'') + 2\alpha^2 \mu K_w \right] \sin \alpha \right\}, \quad (10)$$

$$K_v' = \frac{\partial K_v}{\partial \varphi} = \frac{1}{2} (\pi - \varphi) \sin \varphi - 1 + \frac{1}{2} \left(\frac{\pi^2}{3} - \frac{3}{4} - \pi\varphi + \frac{\varphi^2}{2} \right) \cos \varphi,$$

где

$$K_w'' = \frac{\partial^2 K_w}{\partial \varphi^2} = \frac{1}{2} (\pi - \varphi) \sin \varphi + \frac{1}{2} \left(\pi\varphi - \frac{1}{4} - \frac{\pi^2}{3} - \frac{\varphi^2}{2} \right) \cos \varphi,$$

Рассмотрим применение полученных зависимостей к решению задачи НДС стенки резервуара в узле сопряжения с технологическими трубопроводами. Пусть резервуар получил равномерную осадку ΔS (рис.2.6), а длина трубопровода от задвижки до стенки резервуара 1. Примем закрепление задвижки на фундаменте таким, что сопряжение трубопровода с задвижкой можно рассматривать как жесткое защемление. Тогда дифференциальное уравнение равновесия трубопровода запишется (в системе координат, показанной на рис.2.6) в виде:

$$EIy'' = M_0 + R_0 \cdot \xi, \quad (11)$$

где EI – изгибная жесткость трубопровода.

Последовательное интегрирование (11) приводит к уравнению прогибов:

$$EIy' = M_0 \xi + R_0 \frac{\xi^2}{2} + C_1, \quad (12)$$

$$EIy = M_0 \frac{\xi^2}{2} + R_0 \frac{\xi^3}{6} + C_1 \xi + C_2, \quad (13)$$

					Определение напряженно-деформированного состояния резервуара аналитическим методом расчета	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		41

где C_1 и C_2 – произвольные постоянные интегрирования, жесткое заземление трубопровода в начале координат позволит их приравнять к нулю $C_1=0$; $C_2=0$.

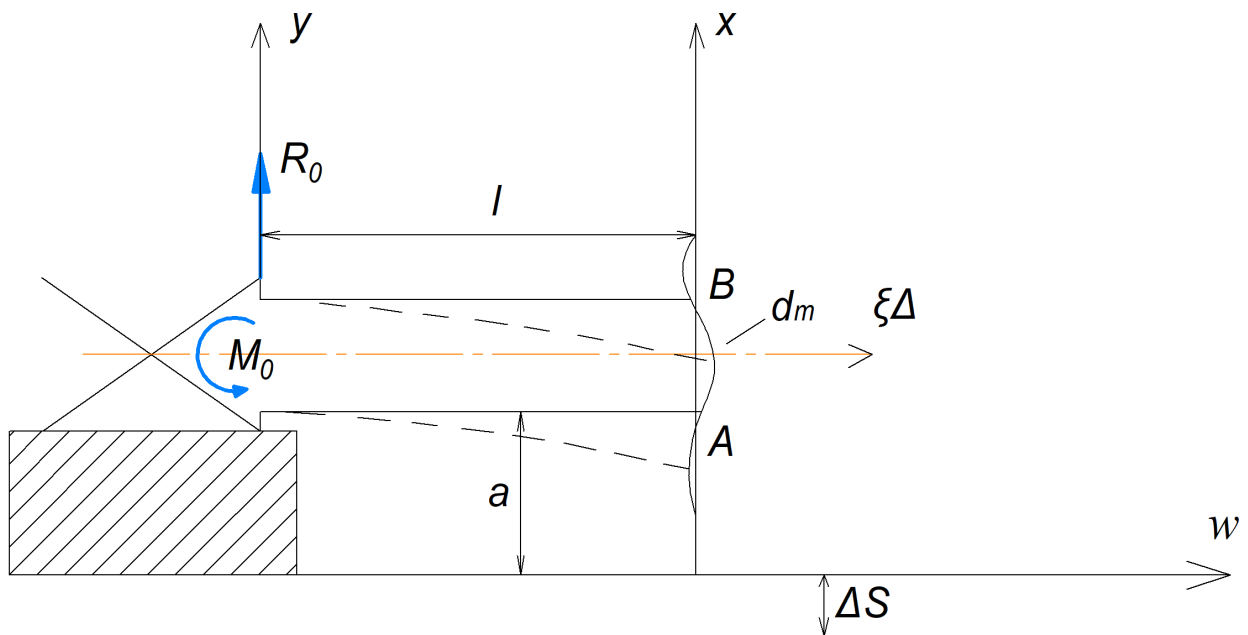


Рисунок 2.6 – Расчетная схема для узла сопряжения приемораздаточных патрубков и резервуара

Вертикальная составляющая реакции заземления R_0 и реактивный момент M_0 взаимосвязаны зависимостью:

$$M_0 = -R_0 \cdot l, \quad (14)$$

И найдутся условия из условия совместности деформаций стенки резервуара и трубопровода при $\xi=1$, $y = -\Delta S$, то есть с учетом (14):

$$y = \frac{l}{EI} \left(-R_0 \frac{l^3}{2} + R_0 \frac{l^3}{6} \right) = -\Delta S,$$

или

$$-\frac{R_0 l^3}{3EI} = -\Delta S,$$

откуда

$$M_0 = \frac{-3EI\Delta S}{l^2}, \quad R_0 = \frac{3EI\Delta S}{l^3}, \quad (15)$$

					Определение напряженно-деформированного состояния резервуара аналитическим методом расчета	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		42

Угол поворота трубопровода в узле сопряжения со стенкой резервуара найдем из (12) с учетом (15):

$$y' = \frac{-3\Delta S}{l} + \frac{3\Delta S}{2l} = -\frac{3}{2} \cdot \frac{\Delta S}{l}, \quad (16)$$

Поворот сечения трубопровода в сопряжении со стенкой резервуара вызовет радиальные смещения последней. Пренебрегая сопротивлением стенки резервуара осевым деформациям трубопровода, запишем радиальные смещения стенки резервуара:

а) в точке А пересечения с нижней образующей трубопровода:

$$w_A = -\frac{3\Delta S d_m}{4l}, \quad (17)$$

б) в точке Б пересечения с верхней образующей трубопровода:

$$w_B = \frac{3\Delta S d_r}{4l}, \quad (18)$$

в) в любой точке $-\frac{d_r}{2} \leq z \leq \frac{d_r}{2}$:

$$w_z = \frac{3\Delta S z}{2l}, \quad (19)$$

Для исследования влияния жесткого сопряжения технологического трубопровода со стенкой резервуара на НДС последней рассмотрим простейший случай: резервуар с постоянной толщиной стенки, нижний край стенки зашпелен, а соотношение толщины, диаметра и длины оболочки таковы, что ее можно рассматривать как бесконечно длинную. Радиальные смещения оболочки представим в виде суммы:

$$w = w_1 + w_2, \quad (20)$$

где w_1 – часть смещений от осесимметричной нагрузки (гидростатическое давление хранимой жидкости); w_2 – часть смещений от неосесимметричной нагрузки (взаимодействие с технологическим трубопроводом).

					Определение напряженно-деформированного состояния резервуара аналитическим методом расчета	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		43

Радиальные смещения оболочки от осесимметричной нагрузки найдутся из решения уравнения:

$$D \frac{d^4 w_1}{dx^4} + \frac{E\delta}{r^2} w_1 = -\gamma(h-x), \quad (21)$$

где γ – объемный вес жидкости; h – высота налива жидкости; E – модуль Юнга.

При граничных условиях $w_1(0) = 0, \frac{dw_1'}{dx}(0) = 0$ решение (21) запишется в виде:

$$w_1 = -\frac{\gamma r^2}{E\delta} \left\{ e^{-\beta x} \left[\left(\frac{1}{\beta} - h \right) \sin \beta x - h \cos \beta x \right] + h - x \right\}, \quad (22)$$

где $\beta = \sqrt[4]{\frac{3(1-\mu^2)}{r^2 \delta^2}}$, μ – коэффициент Пуассона.

Смещения оболочки от неосесимметричной нагрузки найдутся из решения (1) с учетом (2) – (19).

Запишем уравнение (1) для участка $0 \leq x \leq a$ (рис. 2.6) через начальные параметры:

$$w_2 = w_0'' \frac{1}{\alpha^2} K_3(\alpha x) + w_0''' \frac{1}{\alpha^3} K_4(\alpha x), \quad (23)$$

где w_0'', w_0''' – начальные параметры; $K_3(\alpha x), K_4(\alpha x)$ – функция Крылова.

Для нахождения начальных параметров используем условия (16) и (17), то есть :

$$\left. \begin{aligned} w_0'' \frac{1}{\alpha^2} K_3(\alpha a) + w_0''' \frac{1}{\alpha^3} K_4(\alpha a) &= -\frac{3\Delta S d_\tau}{4l}; \\ w_0'' \frac{1}{\alpha} K_2(\alpha a) + w_0''' \frac{1}{\alpha^2} K_3(\alpha a) &= \frac{3}{2} \cdot \frac{\Delta S}{l}. \end{aligned} \right\} \quad (24)$$

Решение системы уравнений (24) приводит к выражениям:

					Определение напряженно-деформированного состояния резервуара аналитическим методом расчета	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		44

$$w_0'' = -\frac{3\Delta S}{2l} \cdot \frac{\left[\frac{\alpha^2 d_\tau}{2} K_3(\alpha a) + \alpha K_4(\alpha a) \right]}{\left[K_3^2(\alpha a) - K_2(\alpha a) K_4(\alpha a) \right]},$$

$$w_0'' = \frac{3\Delta S}{2l} \cdot \frac{\left[\alpha K_3(\alpha a) + \frac{\alpha^3 d_\tau}{2} K_2(\alpha a) \right]}{\left[K_3^2(\alpha a) - K_2(\alpha a) K_4(\alpha a) \right]},$$

Для участка $x \geq (a+d_\tau)$ решение (1) запишется в виде:

$$w_2 = e^{-\alpha(x-b)} \left[C_1 \cos \alpha(x-b) - C_2 \sin \alpha(x-b) \right], \quad (25)$$

где C_1 и C_2 – произвольные постоянные интегрирования; $b = a+d_\tau$.

Неизвестные C_1, C_2 должны удовлетворять условиям: при $x=b$:

$$w_2 = \frac{3\Delta S d_\tau}{4l}, \quad \frac{dw_2}{dx} = \frac{3\Delta S}{2l},$$

Из первого условия находим:

$$C_1 = \frac{3\Delta S d_\tau}{4l},$$

из второго условия получим:

$$C_2 = \frac{3\Delta S}{2l} \left(\frac{1}{\alpha} + \frac{d_\tau}{2} \right),$$

Для интервала $a \leq x \leq d_\tau$ граничные условия запишутся при:

$$\varphi = \frac{\sqrt{\frac{d_\tau^2}{4} - z^2}}{r}, \quad w_2 = \frac{3\Delta S z}{2l},$$

где

$$z = x - a - \frac{d_\tau}{2},$$

Для удовлетворения этих граничных условий приложим в точке $\varphi=0$

фиктивное усилие P_x такое, что $w_2(\varphi) = \frac{3\Delta S z}{2l}$, тогда с учетом (2) имеем:

$$P_x = \frac{3D\Delta S z}{2lK_w r^3},$$

					Определение напряженно-деформированного состояния резервуара аналитическим методом расчета	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		45

Напряжения в стенке по формулам:

$$\sigma_x = \frac{E\mu}{1-\mu^2} \left(\frac{\partial v}{\partial \varphi} + \frac{w}{r} \right) + \frac{6M_x}{\delta^2} + \gamma_{cm} (h_p - x) + \frac{G_{кр}}{2\pi r \delta}, \quad (26)$$

$$\sigma_\varphi = \frac{E}{1-\mu^2} \left(\frac{\partial v}{\partial \varphi} + \frac{w}{r} \right) \pm \frac{6M_\varphi}{\delta^2}, \quad (27)$$

$$\sigma_{экв} = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_\varphi^2 - \sigma_x \sigma_\varphi}. \quad (28)$$

где γ_{cm} – удельный вес стали; $G_{кр}$ – вес крыши и опорного кольца с учетом всех дополнительных нагрузок; h_p – высота стенки резервуара.

Результаты расчета представлены в таблице 2.4.

Таблица 2.4. Напряженно-деформированное состояние стенки РВС в зоне присоединения прямо-раздаточного патрубка

Положение x, м	Суммарное напряжение $\sigma_{экв}$, МПа	Положение x, м	Суммарное напряжение $\sigma_{экв}$, МПа	Положение x, м	Суммарное напряжение $\sigma_{экв}$, МПа
0,05	105,2	0,35	34,5	1,20	101,3
0,10	76,4	0,40	45,4	1,25	106,4
0,15	56,3	1,0	94,5	1,30	116,3
0,20	28,4	1,05	96,4	1,35	123,6
0,25	23,3	1,10	97,5	1,40	125,4
0,30	26,5	1,15	98,7		

Определим допускаемое напряжение при растяжении.

Допускаемое напряжение материала пояса стенки по пределу текучести определяется согласно ГОСТ 31385-2016 по формуле:

$$R_i = \frac{R_{yn} \cdot \gamma_c \cdot \gamma_t}{\gamma_m \cdot \gamma_n}, \quad (29)$$

где R_{yn} – нормативное сопротивление, принимаемое равным гарантированному значению предела текучести по ГОСТ 19281-2014, $R_{yn}=345$ МПа;

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

γ_m – безразмерный коэффициент надежности по материалу (определяется в соответствии с СП 16.13330.2011 "СНиП II-23-81* Стальные конструкции"[8]), $\gamma_m = 1,1$;

γ_n – безразмерный коэффициент надежности по ответственности, для резервуара класса КС-3б, хранящего продукт плотностью менее 1,05 т/м³ $\gamma_n = 1,1$;

γ_t – безразмерный температурный коэффициент, определяемый по формуле:

$$\gamma_t = \begin{cases} \sigma_T / \sigma_{T, 20}, & \text{если } T > 100^\circ \text{C}, \\ 1, & \text{если } T \leq 100^\circ \text{C}, \end{cases} \quad (30)$$

где $\sigma_T, \sigma_{T, 20}$ – допускаемые напряжения стали при расчетной температуре металла соответственно T и 20°C. Тогда $\gamma_t = 1$.

Допускаемые напряжения для первого пояса при толщине листов стенки 14 мм:

$$R_1 = \frac{345 \cdot 0,7 \cdot 1}{1,1 \cdot 1,1} = 199,6 \text{ МПа}$$

Таким образом, значения, полученные в результате расчета, не превышают допускаемые напряжения.

Вывод по главе

В рамках данной главы были определены основные нагрузки, воздействующие на РВС, допустимые напряжения материала стали, произведен аналитический расчет напряженно-деформированного состояния стенки РВС в зоне врезки прямо-раздаточного патрубка без учета воздействия дефектов сварных соединений данного соединения.

					Определение напряженно-деформированного состояния резервуара аналитическим методом расчета	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		47

3. Определение напряженно-деформированного состояния резервуара численным методом расчета

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

Рассматриваемый геометрический объект разбивается на конечные элементы, тем самым образуя сетку из границ элементов. Точки пересечения границ элементов сетки образуют узлы, что способствует созданию общей КЭ модели рассматриваемого объекта. От вида напряженно- деформированного состояния и геометрической формы рассматриваемого объекта зависят форма, тип и размер КЭ. Конечные элементы бывают оболочечными, стержневыми, кольцевыми, двумерными, трехмерными и имеют разнообразные свойства, задающиеся при помощи констант и настроек. Элементы и узлы конечного элемента имеют глобальную и локальную нумерации, существование которых позволяет достигать наименьших усилий при вычислениях. В процессе решения задачи определяются массивы связей между номерами узлов и элементов.

					Оценка влияния дефектов сварных соединений стенки и приемо-раздаточных патрубков на напряженно-деформированное состояние резервуара вертикального стального			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				
<i>Разраб.</i>		Кирченко Н.Н.			Определение напряженно-деформированного состояния резервуара численным методом расчета	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Руковод.</i>		Никульчиков А.В.					48	119
<i>Консульт.</i>						ТПУ гр. 2Б7Б		
<i>Рук-ль ООП</i>		Брусник О.В.						

При решении задач с различными физическими величинами с применением МКЭ в затрагиваемой области необходимо установить материалы элементов, а также задать физико-механические свойства. При рассмотрении деформаций необходимо учесть такие упругие свойства объектов, как модуль упругости и коэффициент Пуассона. Если имеются пластические деформации, то нужно задать диаграммы деформирования для реальных материалов, которые аппроксимируются мультилинейными или билинейными кривыми.

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

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

$$[K]\{U\} = \{P\} + \{P\}^q + \{P\}^g + \{P\}^{s^0} + \{P\}^{\sigma^0}, \quad (31)$$

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

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

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

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

Коэффициенты жесткости модели $[K]$ находятся путем сложения соответствующих коэффициентов жесткости конечных элементов, а

					Определение напряженно-деформированного состояния резервуара численным методом расчета	Л
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		49

глобальный вектор заданных внешних узловых сил $\{P\}$ можно расписать в виде:

$$\{P\} = \begin{Bmatrix} P \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ P_s \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ P_N \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} P_1 \\ \dots \\ P_i \\ \dots \\ P_n \end{Bmatrix}, \quad (32)$$

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

Выражение (31), которое было получено с помощью метода конечных элементов для статической линейно-упругой модели, можно интерпретировать как СЛАУ (система линейных алгебраических уравнений). После того, как учли наложенные связи, которые не допускают движения модели тела, определитель матрицы жесткости $[K]$ не равен нулю, из-за этого становится возможным только единственное вычисление – общий вектор узловых перемещений $\{U\}$. От свойств и структуры (размер, заполненность, симметричность) матрицы $[K]$ зависит продуктивность решения системы линейных алгебраических уравнений.

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

При использовании итерационных методов вначале задаются некоторыми приближенными значениями искомых величин, а далее, при использовании разных алгоритмов их последовательно уточняют, тем самым

					Определение напряженно-деформированного состояния резервуара численным методом расчета	Л
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		50

приближаясь к точному решению. Наиболее часто в практике применяют метод прямой итерации.

Рассматриваемая КЭ модель узла врезки патрубка в стенку РВС-20000 является нелинейной, так как геометрическая нелинейность при деформации обусловлена большими перемещениями. Нелинейные постановки задач решаются с применением итерационных методов и рассмотрением квазилинейных уравнений в каждой итерации.

Создание численной модели методом конечных элементов осуществляется в программном обеспечении ANSYS, которое позволяет решать обширный диапазон задач в области механики твердо-деформируемого тела. Для исследования напряженно-деформируемого состояния применяется интерактивный режим программного обеспечения ANSYS, который позволяет использовать платформу Workbench. Решение будем производить в 3 этапа.

На первом этапе выполняются работы по созданию конечно-элементной модели узла врезки патрубка в стенку РВС-20000. В первый этап входят такие работы как:

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

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

					Определение напряженно-деформированного состояния резервуара численным методом расчета	Л
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		51

- задание граничных условий – сил, заземлений, перемещений и т.д.;
- выбор типа анализа (статический, динамический);
- выбор метода решения системы уравнений МКЭ;
- задание параметров вычислительных операций (число итераций, шагов нагружения);
- выполнение решения системы уравнений.

На третьем этапе выполняется анализ и обработка полученных результатов [36].

3.1. Геометрическое моделирование узла врезки приемо-раздаточного патрубка в стенку РВС-20000 в SpaceClaim

Для реализации конечно-элементной модели в программной системе ANSYS необходимо разработать основные элементы резервуара, которые соответствуют реальным техническим и геометрическим характеристикам. Размер сварного соединения приемо-раздаточного патрубка и стенки резервуара несопоставим с размером конструкции всего резервуара. Учебная версия ANSYS, в которой производились расчеты имеет ограничение на количество узлов, не более 250000, а также на количество элементов, не более 100000. Наличие дефектов сварного соединения оказывает значительное влияние на напряженно-деформированное состояние шва, а также области вокруг него. Таким образом, изменение напряженно деформированного состояния РВС будут значительны лишь в зоне соединения патрубка и стенки резервуара. Исходя из этого расчетная модель включает в себя конструкцию врезки ПРП в стенку РВС, первый пояс резервуара для задания нагрузки, и окрайку для жесткого закрепления модели. Основные размеры и габариты приемо-раздаточного патрубка представлены на рисунке 2.2. Размеры фланцев приняты согласно ГОСТ 33259-2015. Сварное соединение стенки РВС и патрубка осуществлено в соответствии с СТО -СА-03-002-2009 согласно рисункам 1.17, 1.18. Размеры и габариты всех элементов модели представлены в таблице 3.1.

					Определение напряженно-деформированного состояния резервуара численным методом расчета	Л
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		52

Таблица 3.1– Размеры и габариты всех элементов модели

Параметр	Значение	Единица изм.
Диаметр резервуара	45640	мм
Высота стенки	11920	мм
Ширина окрайки	800	мм
Толщина 1-го пояса стенки	14	мм
Толщина листов окрайки	10	мм
Величина выступа окрайки	100	мм
Высота 1-8 поясов стенки	1490	мм
Наружный диаметр патрубка	530	мм
Толщина стенки патрубка	12	мм
Толщина усиливающего листа	14	мм
Длина катета шва усиливающего листа и патрубка К1	10	мм
Длина катета шва листа 1-го пояса и патрубка К1	10	мм
Длина катета шва первого пояса и усиливающего листа К2	14	мм
Угол среза кромки листа 1-ого пояса	20	градусов
Зазор м/ду листом 1-го пояса и патрубка	8	мм
Зазор м/ду усиливающим листом и патрубком	3	мм

Построение геометрии модели резервуара в программе ANSYS реализовано в модуле SpaceClaim. В схематике проекта создаем компонент «геометрия» и переходим к его редактированию с помощью модуля SpaceClaim. Затем используя функции «Sketch», осуществляем работу с эскизами элементов модели. После задания эскиза, он автоматически превращается в плоскость, которой можно задать объем с помощью функции «Pool». Созданная объемное тело становится твердотельной моделью. Совмещая работу с плоскостями и используя возможности работы с твердотельными моделями создаем все элементы конструкции. Для того чтобы в дальнейшем сэкономить ресурсы на создание сетки конечных элементов, разделим созданную модель. Результатом построения будет являться созданная твердотельная модель узла врезки прямо-раздаточного патрубка в стенку РВС-20000 (рис. 3.1). Для того чтобы в дальнейшем сэкономить ресурсы на создание сетки конечных элементов, разделим созданную модель по вертикальной линии симметрии патрубка. Затем в модуле Ansys Mechanical зададим зеркальную симметрию. Этот пункт подробнее рассмотрим в следующей главе. Часть стены, в которую врезается патрубок создадим

					Определение напряженно-деформированного состояния резервуара численным методом расчета	Л
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		53

отдельным листом размером 6000×1490 мм, согласно типовому проекту 704-1-60. Также элементы примыкающие к сварному шву стенки и патрубка разделим вблизи сварного шва, чтобы в дальнейшем создать зону большей концентрации конечных элементов. Конечная модель отображена на рисунке 3.2. Соединение стенки и патрубка представляет собой односторонний тавровый шов со скосом одной кромки. Профиль шва представлен на рисунке 3.3.

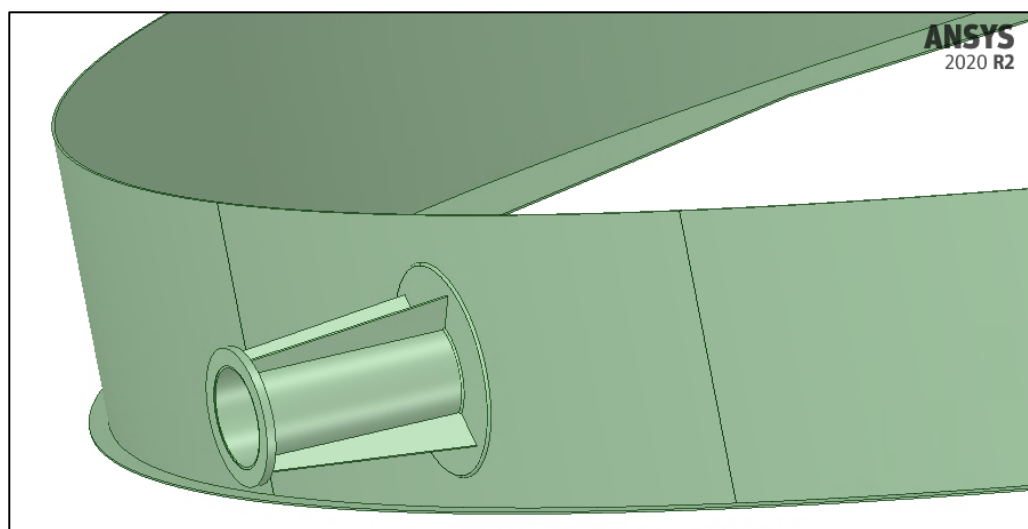


Рисунок 3.1– Общий вид узла врезки прямо-раздаточного патрубка в стенку РВС

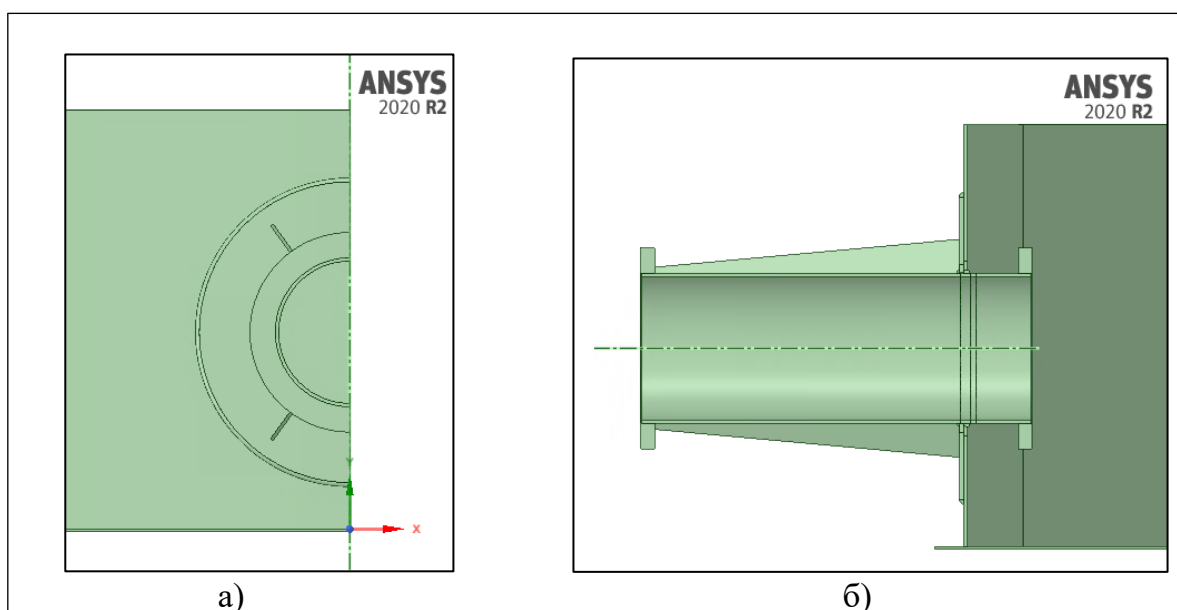


Рисунок 3.2 – Изображения узла врезки прямо-раздаточного патрубка в стенку РВС после его разреза: а) вид спереди; б) вид сбоку

					Определение напряженно-деформированного состояния резервуара численным методом расчета	Л
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		54

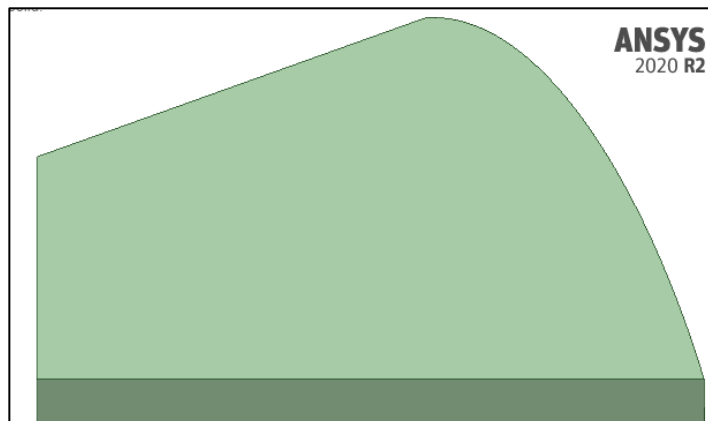


Рисунок 3.3 – Профиль шва сварного соединения стенки и патрубка

3.2. Задание контактных пар и создание конечно-элементной сетки модели

После создания геометрии резервуара переходим в Workbench и создаем систему анализа – Static Structural, перенося соответствующий пункт прямо на созданную геометрию.

По умолчанию все элементы конструкции имеют материал Structural Steel, однако, в нашем случае, потребуется задать дополнительный материал – материал сварного шва. Для этого во вкладке Engineering Data и воспользовались встроенной моделью Concrete (рисунок 3.4.).

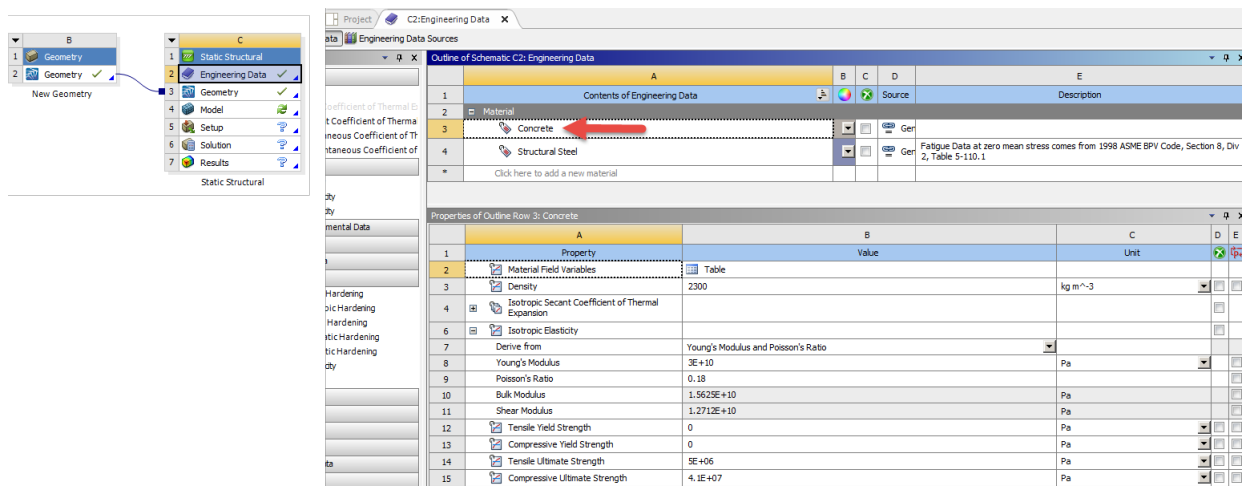


Рисунок 3.4.– Используемые материалы

После задания материалов возвращаемся к схематике проекта и переходим в модуль Mechanical. Продвигаясь далее по дереву проекта перейдем на вкладку Connections. В данной вкладке задаются соединения (включая контактное взаимодействие). Созданные автоматические связи не отображают действительные контакты, поэтому создадим контакты по

поверхностям типа «Bonded» (сварка) в зонах, где действительно произведена сварка.

Для создания сетки конечных элементов переходим во вкладку Mesh, где открываются настройки КЭ сетки. Так, по умолчанию КЭ сетка строится с автоматическим выбором типа элементов (Program Controlled). Так же доступны варианты принудительного использования линейный или квадратичных элементов. В автоматическом режиме практически всегда будут использоваться линейные элементы. В зависимости от типа геометрического объекта (массивное тело, поверхность, балочное тело) автоматически выбирается конкретный тип элемента, так, например, для твердых тел выбираются десяти-узловые тетраэдры и двадцати-узловые гексаэдры. Для каждого тела зададим размер создаваемой сетки. Элементы, контактирующие со швом, и сам шов будут иметь максимальную плотность сетки. Размер сетки для каждого из элементов представлен в таблице 3.2. Общий вид модели, полученной на данном этапе представлен на рисунке 3.5. На рисунке 3.6. показана сетка в зоне сварного шва соединения приемо-раздаточного патрубка и стенки РВС.

Таблица 3.2. – Размер сетки каждого элемента модели

Элемент	Размер сетки, мм	Элемент	Размер сетки, мм
Лист 6000×1480	100	Лист 6000×1480 в близи шва	4
Усиливающий лист	100	Усиливающий лист в близи шва	10
Патрубок	50	Патрубок в близи шва	10
Остальной пояс стены	150	Шов стенки (листа 6000×1480) и патрубка	3
Окрайка	200	Шов усиливающего листа и стенки (листа 6000×1480)	10
Фланцы	100	Шов усиливающего листа и патрубка	10

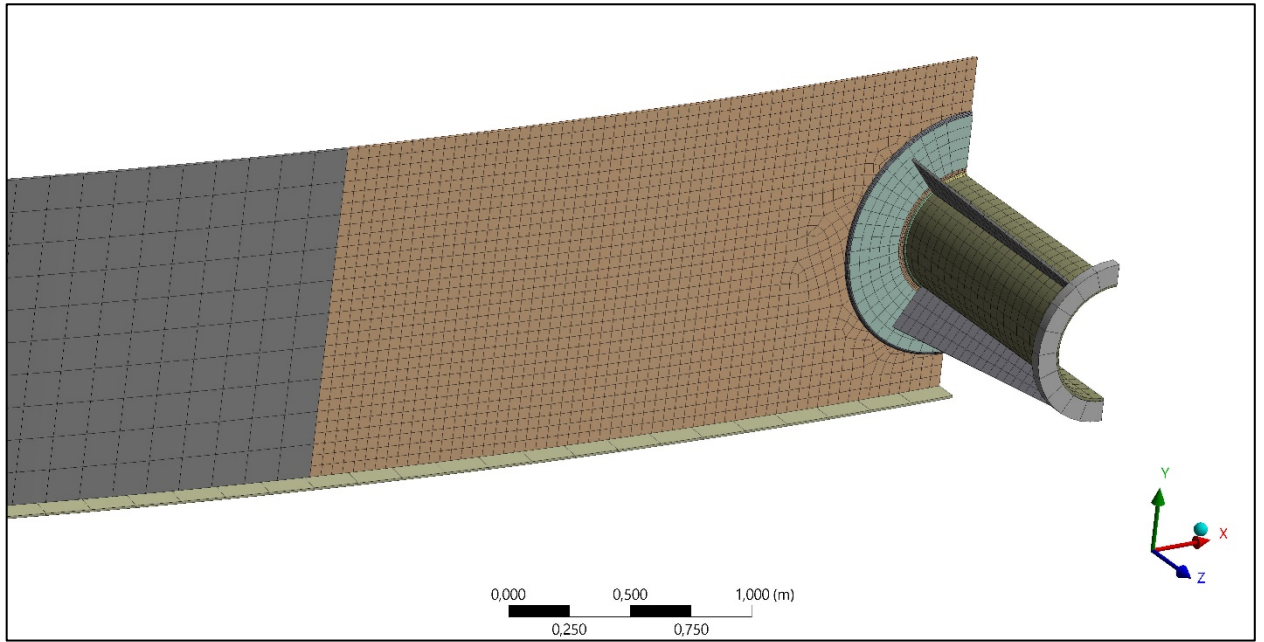


Рисунок 3.5 – Общий вид модели врезки патрубка в стенку резервуара, первого пояса и
окрайки

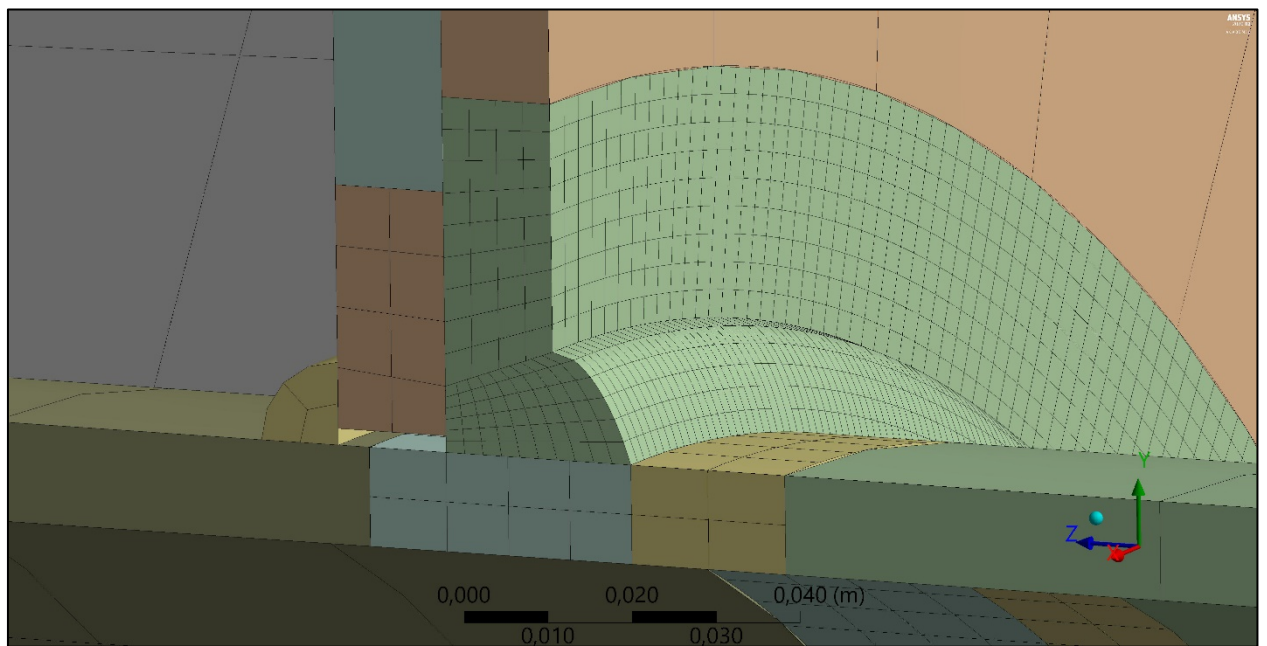


Рисунок 3.6 – Конечно-элементная сетка в зоне сварного шва соединения прямо-
раздаточного патрубка

					Определение напряженно-деформированного состояния резервуара численным методом расчета	Л
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		57

3.3. Приложение воздействий и нагрузок на модель

Так как модель была разделена надвое по линии симметрии для правильного задания нагрузок воспользуемся функцией Symmetry Region (Зеркальная симметрия). При использовании данной функции прикладываемые силы дублируются, соответственно их необходимо разделить на два.

На резервуар были приложены следующие нагрузки: вес элементов находящихся выше первого пояса, приложенный по нормали к верхней грани стенки и величиной 1157000 Н (половина); гидростатическое давление, оказываемое на стенку и днище средой плотностью 730 кг/м³ и высотой заполнения 10,5 м. Для учета собственного веса модели прикладываем Standard Earth Gravity, а также осуществляем жесткое закрепление по нижней поверхности окрайки днища с помощью функции Fixed Support (рис. 3.7).

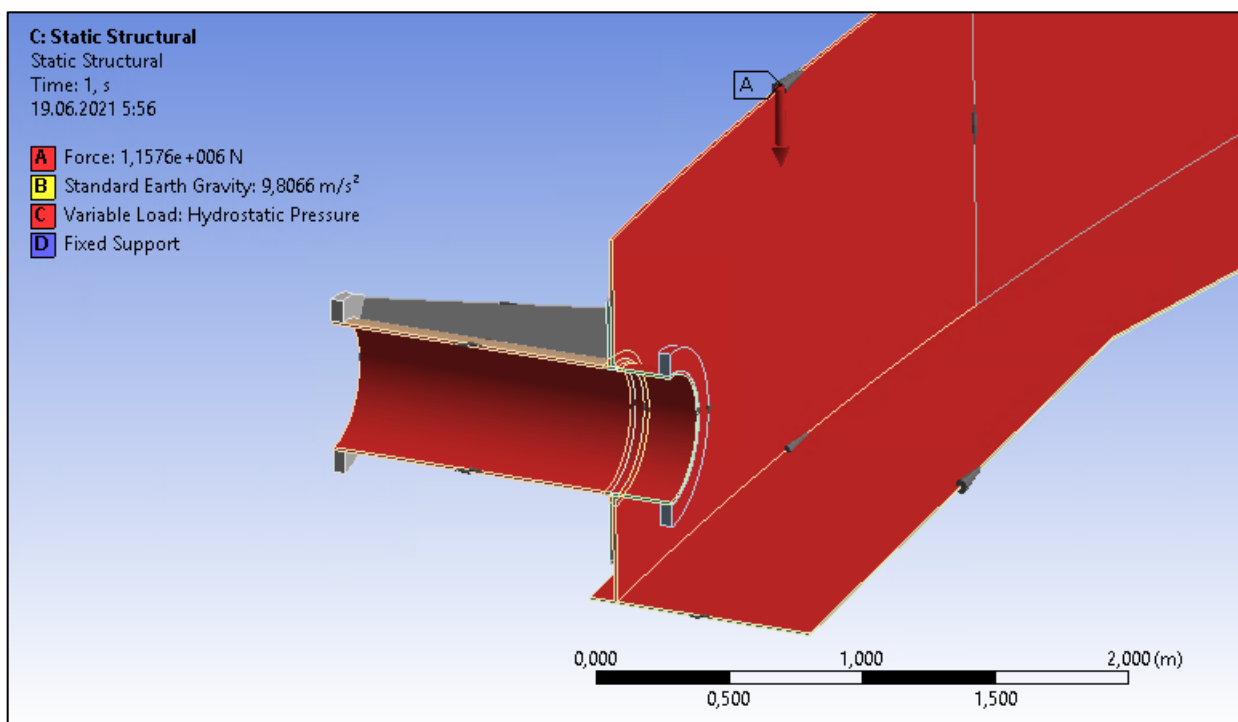


Рисунок 3.7 – Приложенные нагрузки

3.4. Анализ НДС и определение достоверности модели

Для проверки полученной модели с помощью ANSYS сопоставим результаты численного и аналитического решения рассмотренной задачи. Таким образом будет проверена адекватность построенной модели и

					Определение напряженно-деформированного состояния резервуара численным методом расчета	Л
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		58

возможность ее применения в дальнейшем исследовании. Суммарные напряжения стенки в зоне соединения с прямо-раздаточным патрубком, полученные по оси симметрии представлены на рисунке 3.8, численные значения напряжений указаны в таблице 3.3.

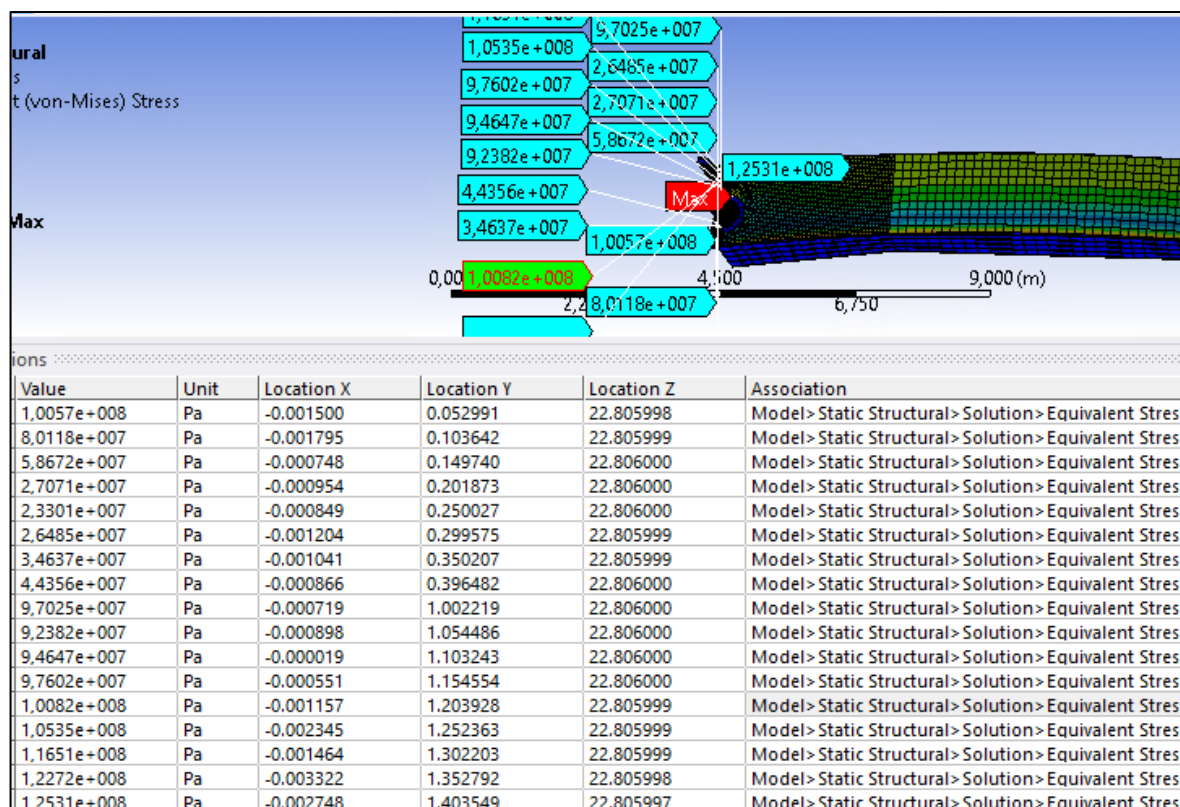


Рисунок 3.8 – Суммарные напряжения стенки в зоне соединения с прямо-раздаточным патрубком

Таблица 3.3. Напряженно-деформированное состояние стенки РВС в зоне присоединения прямо-раздаточного патрубка

Положение x, м	Суммарное напряжение $\sigma_{экр}$, МПа	Положение x, м	Суммарное напряжение $\sigma_{экр}$, МПа	Положение x, м	Суммарное напряжение $\sigma_{экр}$, МПа
0,05	105,7	0,35	34,6	1,20	100,8
0,10	80,1	0,40	44,3	1,25	105,4
0,15	58,6	1,0	97,0	1,30	116,5
0,20	27,1	1,05	92,3	1,35	122,7
0,25	23,3	1,10	94,6	1,40	125,3
0,30	26,4	1,15	97,6		

Разница в результатах решения аналитической и численной задачи для напряжений 4,99 %. Таким образом разница составляет менее 5%, построенную и рассчитанную модель резервуара в программном комплексе ANSYS можно считать адекватной.

Определим напряжения и перемещения стенки и сварного шва резервуара без дефекта, чтобы отталкиваться от данных значений при оценке влияния дефектов сварного соединения (рисунок 3.8, рисунок 3.9).

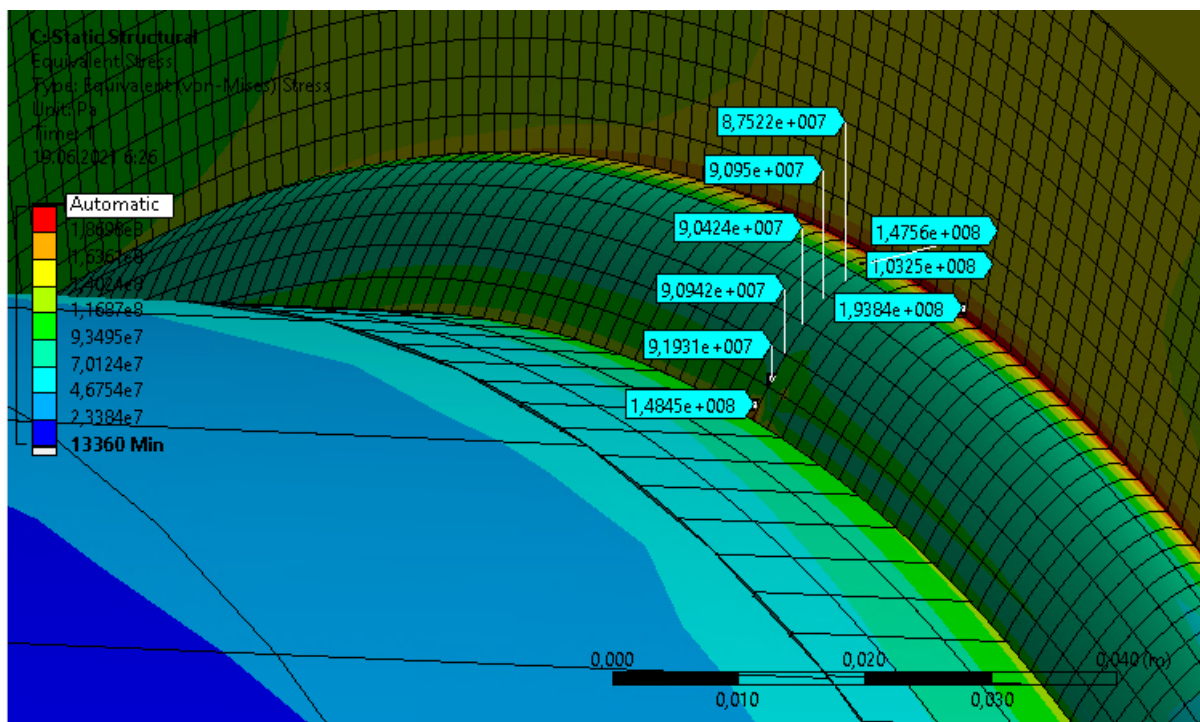


Рисунок 3.8 – Распределение суммарных напряжений по сварному шву соединения стенки резервуара и патрубка

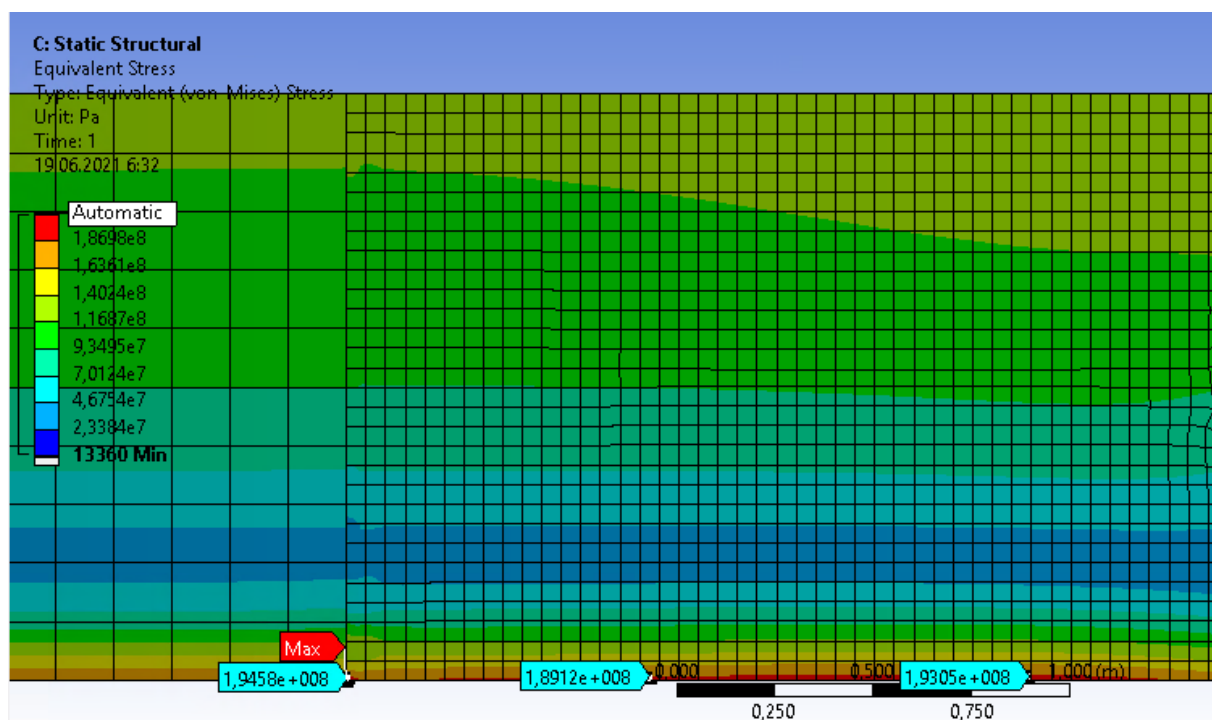


Рисунок 3.9 – Распределение суммарных напряжений по стенке резервуара

					Определение напряженно-деформированного состояния резервуара численным методом расчета	Л
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		60

Предельные допустимые напряжения для материала сварного шва согласно СНиП II-23-81 для автоматизированной сварки при катете шва от 9 до 12 мм на растяжение и сжатие равны допускаемым напряжений материала стенки на растяжение.

Таким образом $R_{шв}=R_1=199,6$ МПа.

Вывод по главе

В данной главе представлено описание создания трехмерной модели зоны врезки приемо-раздаточного патрубка в стенку РВС, произведен численный расчет напряженно-деформированной состояния модели без воздействия дефектов сварных соединений приемо-раздаточного патрубка и стенки резервуара. Максимальные суммарные напряжения сварного соединения и стенки не превышают допускаемых напряжений. Созданная модель является достоверной, максимальные отклонения результатов численного и аналитического методов определения НДС стенки резервуара в зоне присоединения патрубка не превышают 5%.

					Определение напряженно-деформированного состояния резервуара численным методом расчета	Л
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		61

4. Определение напряженно-деформированного состояния резервуара численным методом расчета при воздействии дефектов сварного соединения стенки и приемо-раздаточного патрубка

4.1. Краткая характеристика объекта исследования

Контроль дефектов сварных соединений является неотъемлемой частью сварочного производства, особенно применительно к ответственным конструкциям. Стальные вертикальные резервуары являются не только ответственными, но и опасными конструкциями с большим количеством сварных швов различной ориентации.

В нормативных документах, действующих в настоящее время, регламентирован определенный объем контроля сварных соединений в конструкциях стальных вертикальных резервуаров (см. таблицу 4.1).

Таблица 4.1 – Объемы физического контроля сварных соединений стенок резервуаров

Зона контроля	Класс опасности резервуара				
	IV	III		II	I
		1000-9000 м ³	10000-20000 м ³		
Вертикальные сварные соединения в поясах: 1,2 3,4 5,6 Остальные	20	25	50	100	100
	5	10	25	50	100
	2	5	10	25	50
	-	-	5	10	25
Горизонтальные сварные соединения между поясами: 1-2 2-3 3-4 Остальные	3	5	10	15	20
	1	2	5	5	10
	-	-	2	2	5
	-	-	-	2	2

					Оценка влияния дефектов сварных соединений стенки и приемо-раздаточных патрубков на напряженно-деформированное состояние резервуара вертикального			
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата				
Разраб.		Кирченко Н.Н.			Определение напряженно-деформированного состояния резервуара численным методом расчета при воздействии дефектов сварного соединения стенки и приемо-раздаточного патрубка	Лит.	Лист	Листов
Руковод.		Никulichиков А.В.					62	119
Консульт.						ТПУ гр. 2Б7Б		
Рук-ль ООП		Брусник О.В.						

Из данной таблицы видно, что объем контроля не является 100%, а это значит, что в не проконтролированных участках сварных соединений могут встречаться дефекты, не допускаемые в соответствии с ГОСТ 23055-78 «Контроль неразрушающий. Сварка металлов плавлением. Классификация сварных соединений по результатам радиографического контроля» [17].

Встает вопрос о том, какие же дефекты считать допустимыми, а какие нет. Это можно определить по классу опасности резервуара.

Для 2 класса опасности регламентированы допустимые дефекты сварных соединений, представленные в таблице 4.2.

Таблица 4.2 – Допустимые дефекты сварных соединений

Толщина свариваемых элементов	Поры или включения		Суммарная длина
	Ширина(диаметр)	Длина	
До 3	0,3	0,6	3,0
Св. 3 до 5	0,4	0,8	4,0
» 5 » 8	0,5	1,0	5,0
» 8 » 11	0,6	1,2	6,0
» 11 » 14	0,8	1,5	8,0
» 14 » 20	1,0	2,0	10,0
» 20 » 26	1,2	2,5	12,0
» 26 » 34	1,5	3,0	15,0
» 34 » 45	2,0	4,0	20,0
» 45 » 67	2,5	5,0	25,0
» 67 » 90	3,0	6,0	30,0
» 90 » 120	4,0	8,0	40,0
» 120 » 200	5,0	10,0	50,0
» 200 » 400	5,0	10,0	60,0

Из анализа представленной таблицы можно сделать вывод, что даже и в проконтролированных участках соединений дефекты могут быть, но в определенном объеме.

Кроме того, в настоящий момент большая часть парка резервуаров эксплуатируется более 30 лет. За это время изменились нормативные документы, определяющие объем сварных соединений, представленных контролю, а также изменились и размеры допустимых дефектов, что говорит о том, что сварные соединения эксплуатируемых на данный момент резервуаров не соответствуют требованиям нормативных документов.

При УЗД-контроле сварных стыков стенки в объеме 100% (согласно требованиям норм) в эксплуатируемых резервуарах выявляют многочисленные внутренние дефекты сварных соединений, размеры которых намного превышают значения, регламентированные нормативными документами. Дефектные участки сварных соединений расположены, как правило, в заводских вертикальных и горизонтальных стыках средних и верхних поясов стенки вдали от пересечений швов. В этих местах в соответствии с и действующей ранее нормативной документацией на изготовление стенки резервуаров методом рулонирования контроль внутренних дефектов не проводили [37].

Соответственно возникает вопрос о количественном и качественном показателях дефектов в соединениях и допустимости эксплуатации таких резервуаров. Для решения этого вопроса были проведены статистические исследования дефектов сварных соединений из стали 09Г2С, выполненных автоматической сваркой под слоем флюса для 3 групп толщин: 0 – 6 мм, 6 – 12 мм, 12 – 20 мм. Результаты представлены на рисунках 4.1-4.3 и в таблицах 4.3-4.5.

					<i>Определение напряженно-деформированного состояния резервуара численным методом расчета при воздействии дефектов сварного соединения стенки и приемо-раздаточного патрубка</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		64

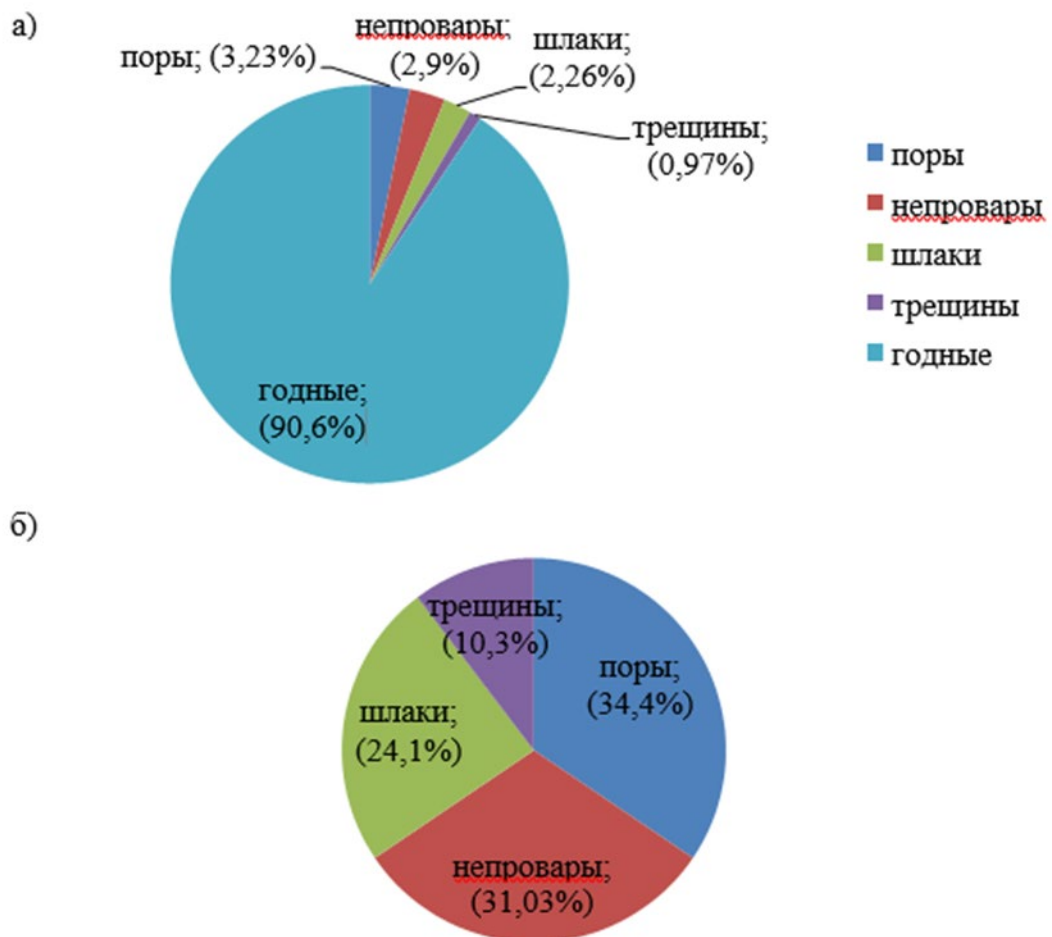


Рисунок 4.1 – Статистика дефектности соединений из стали 09Г2С $t = 0-6$ мм: а) Количество дефектов из всего кол-ва изделий, б) Процентное соотношение дефектов

Таблица 4.3 - Статистика дефектности соединений из стали 09Г2С $t = 0-6$ мм

Тип дефекта	Размер дефекта						Ср. квадр. отклонение	
	минимальный		максимальный		средний			
	скопление	Ø	скопление	Ø	скопление	Ø		
Поры	3	0,5	280	3	56,61	0,78	83,89	0,91
Непровары	10		280		84,8		106,41	
Шлаковые включения	10		200		71,84		85,38	

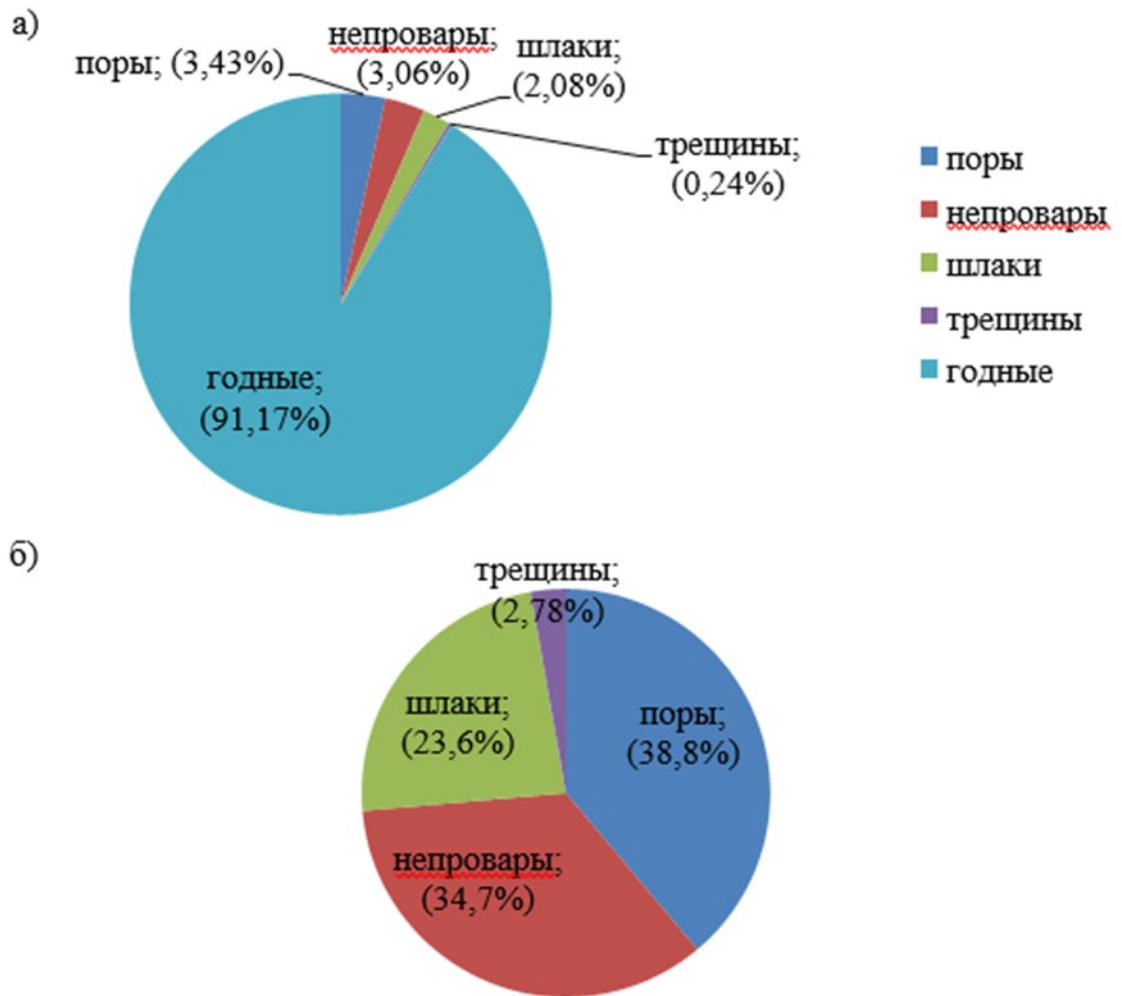


Рисунок 4.2 – Статистика дефектности соединений из стали 09Г2С $t = 6-12$ мм: а) Количество дефектов из всего кол-ва изделий, б) Процентное соотношение дефектов

Таблица 4.4 - Статистика дефектности соединений из стали 09Г2С $t = 6-12$ мм

Тип дефекта	Размер дефекта						Ср.кв.отклонение	
	минимальный		максимальный		средний			
	скопление	Ø	скопление		скопление	Ø		
Поры	10	0,5	280		44,78	1,68	66,76	0,78
Непровары	5		200		44,87		62,85	
Шлаковые включения	7		280		72,95		93,27	

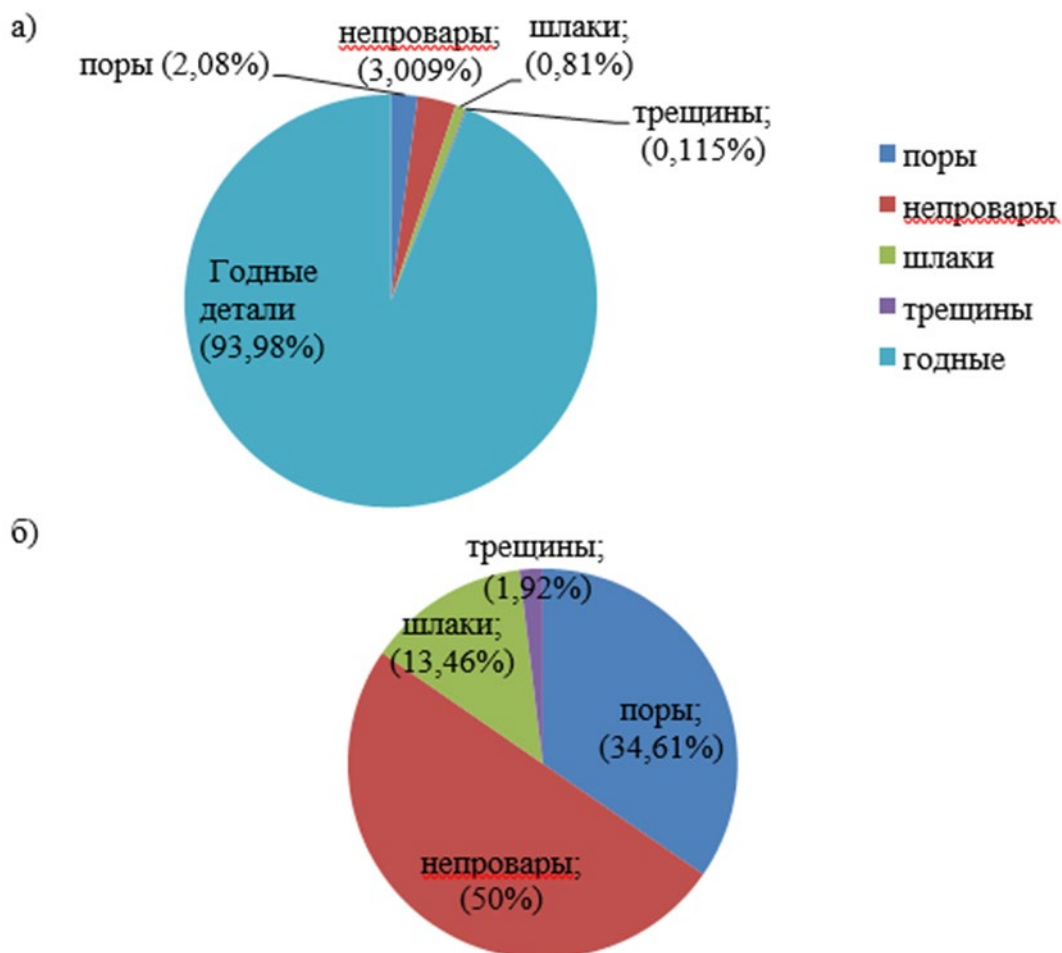


Рисунок 4.3 – Статистика дефектности соединений из стали 09Г2С $t= 12-20$ мм:
 а) Количество дефектов из всего кол-ва изделий, б) Процентное соотношение дефектов

Таблица 4.5 - Статистика дефектности соединений из стали 09Г2С $t= 12-20$ мм

Тип дефекта	Размер дефекта						Ср. квадр. отклонение	
	минимальный		максимальный		средний			
	скопление	Ø	скопление	Ø	скопление	Ø		
Поры	3	1,5	90	3	47,5	0,94	68,71	1,22
Непровары	10		280		83,9		95,66	
Шлаковые включения	2		280		93,14		107,53	

Приведенная статистика показывает, что наиболее распространенными дефектами являются поры и непровары в сварных соединениях. Отсюда напрашивается вывод о том, что в эксплуатируемых резервуарах количество данных дефектов однозначно превышает допустимое.

Одним из методов решения данной проблемы может стать ремонтная сварка существующих соединений. Однако это очень затратный и трудоемкий метод.

Другой метод – это расчет сварных соединений существующих резервуаров с учетом наличия в них недопустимых дефектов и остаточных напряжений и оценка их влияния на НДС.

4.2. Создание модели с дефектом

В качестве основного технологического дефекта рассмотрен непровар. Выбор данного дефекта в качестве основного обуславливается тем, что он относится к классу трещиноподобных и является наиболее опасным с точки зрения разрушения. Выбор геометрических размеров дефектов основан на результатах статистических исследований дефектов схожих сварных швов [38]. Выбор ширины и длины непровара производился согласно рекомендациям ГОСТ, а также по результатам исследований, из которых следует [38,39], из которых следует, что ширина непровара для данного соединения может изменяться от 0 до 10 мм, при этом высота от 0 до 2 мм.

В таблице 4.6. – более детально указаны группы дефектов и отдельные дефекты, рассматриваемые при расчете узла врезки приемо-раздаточного патрубка и стенки РВС.

					Определение напряженно-деформированного состояния резервуара численным методом расчета при воздействии дефектов сварного соединения стенки и приемо-раздаточного патрубка	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		68

Таблица 4.6 – Группы дефектов

Дефект	Группа 1		Группа 2	
	Длина L, мм	Ширина h, мм	Длина L, мм	Ширина h, мм
Непровар	10	0,5	1	2,0
		1,0	3	
		2,0	5	
		4,0	10	
		6,0	25	
		8,0	50	
		10,0	100	
			300	

Формы дефектов сварного шва представлена на рисунке 4.4.

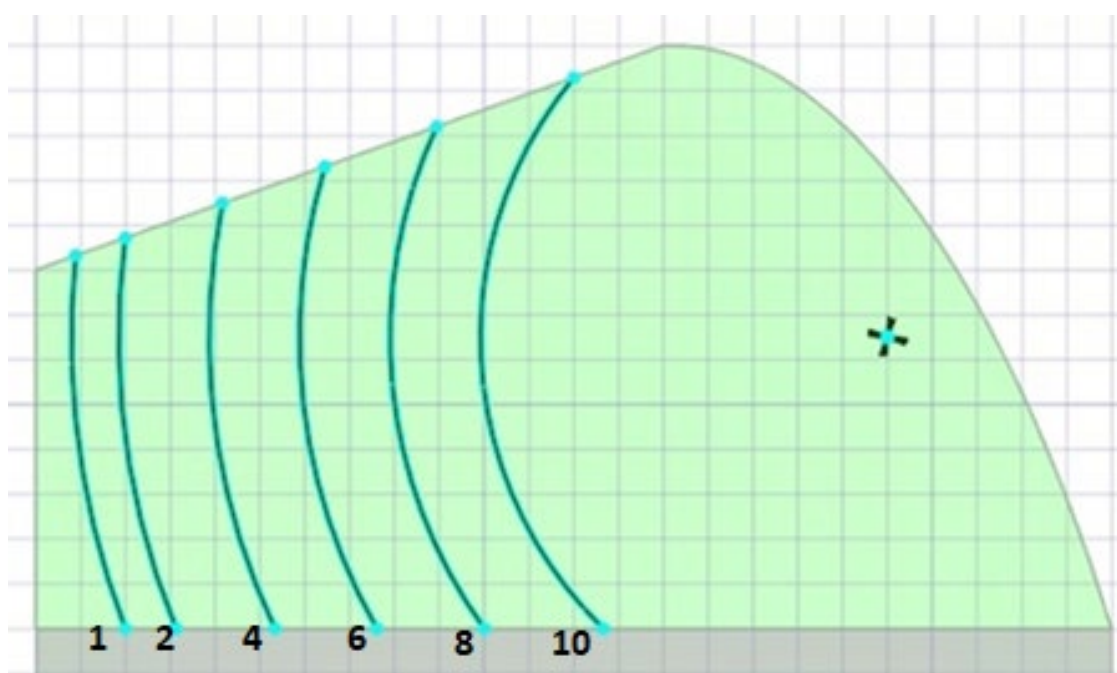


Рисунок 4.4 – Формы дефектов сварного шва шириной от 1 до 10 мм

4.3. Результаты исследования НДС

Примеры НДС сварного соединения при наличии дефекта типа непровара представлены на рисунках 4.5; 4.6; 4.7. Пример НДС стенки представлен на рисунке 4.8.

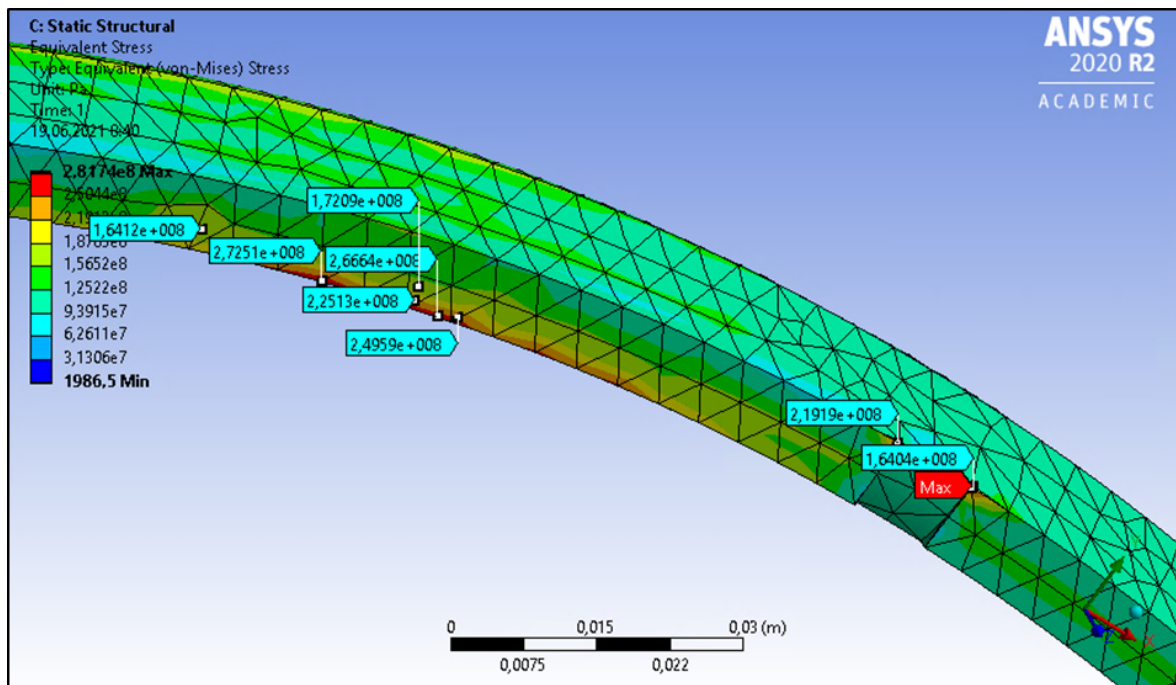


Рисунок 4.5 – НДС шва патрубка и стенки РВС при наличии дефекта типа непровар ($L=10$ мм; $h=0,5$ мм)

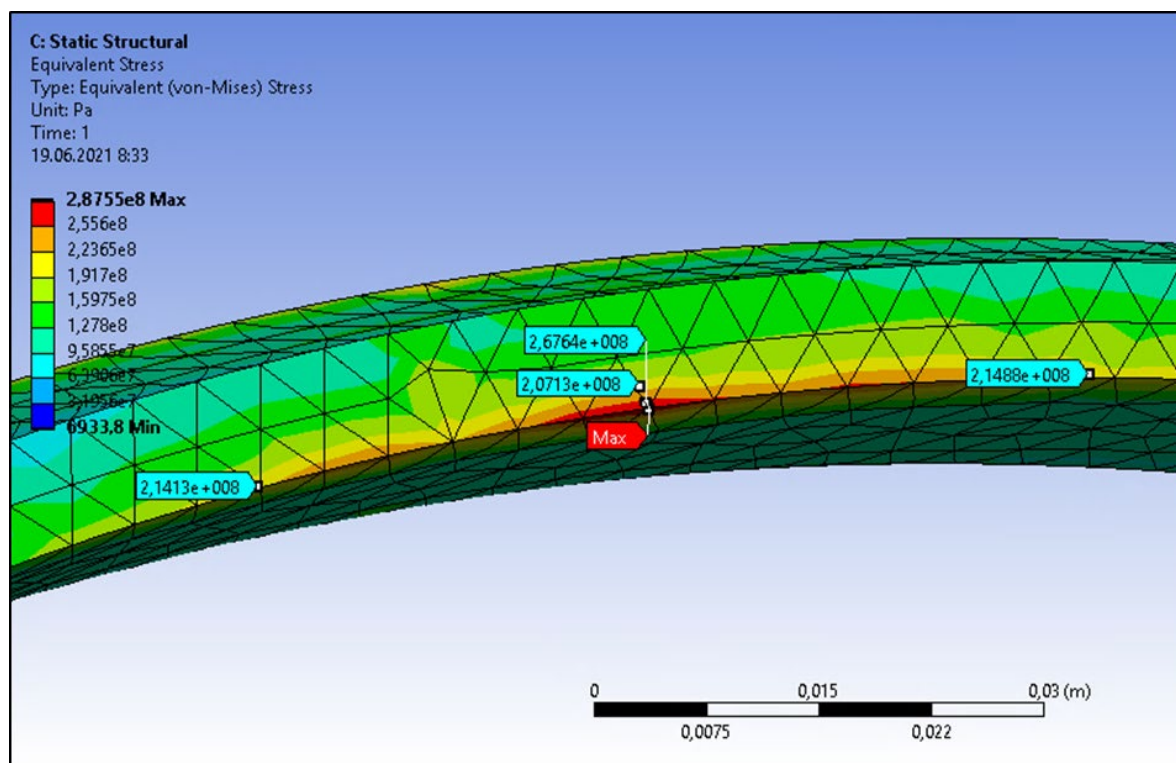


Рисунок 4.6 – НДС шва патрубка и стенки РВС при наличии дефекта типа непровар ($L=10$ мм; $h=1,0$ мм)

					Определение напряженно-деформированного состояния резервуара численным методом расчета при воздействии дефектов сварного соединения стенки и приемо-раздаточного патрубка	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		70

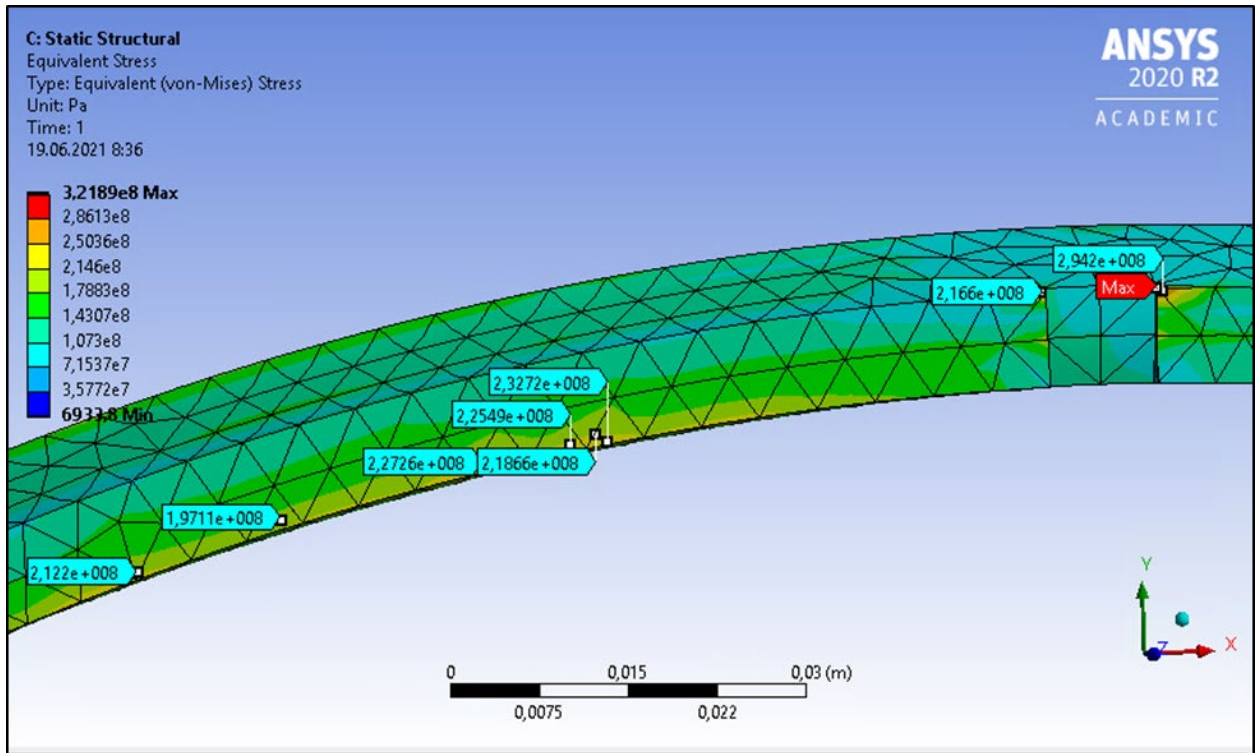


Рисунок 4.7 – НДС шва патрубка и стенки РВС при наличии дефекта типа непровар ($L=10$ мм; $h=2,0$ мм)

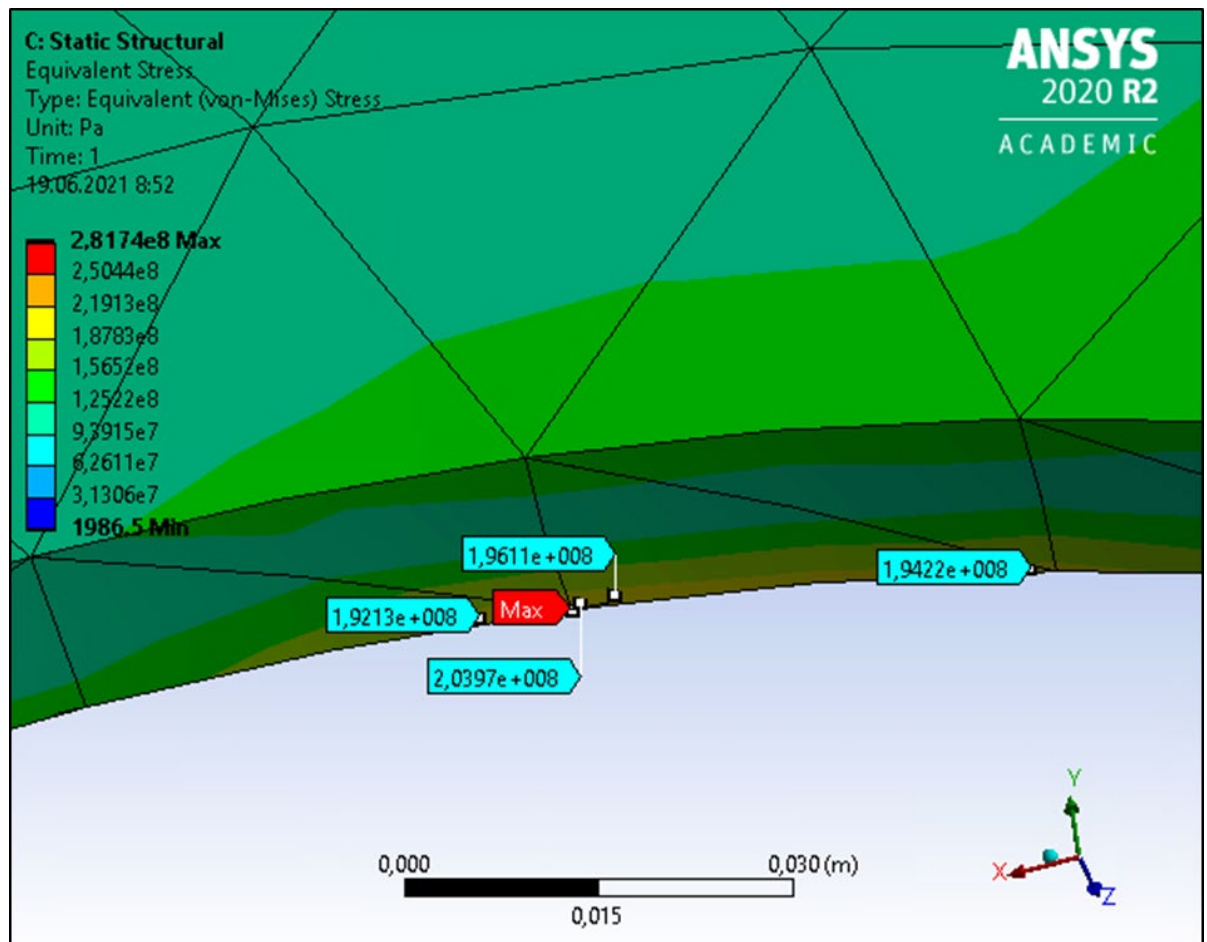


Рисунок 4.8 – НДС стенки, примыкающей к зоне шва патрубка и стенки РВС при наличии дефекта типа непровар ($L=10$ мм; $h=1,0$ мм)

					Определение напряженно-деформированного состояния резервуара численным методом расчета при воздействии дефектов сварного соединения стенки и приемо-раздаточного патрубка	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		71

При наличии дефекта типа непровар возникает зона значительной концентрации напряжений в углах, образовавшегося непровара, а также концентрация напряжений на протяженном участке шва в зоне соединения со стенкой. Протяженность такого участка колеблется в зависимости от размеров и длины и может достигать размеров от 40 см до 120 см. В среднем суммарное напряжение в данной области на 10-25% процентов ниже, чем в углах непровара. Значения полного смещения стенки и шва изменялись незначительно и не превышают предельно допустимых значений. Максимальные суммарные напряжения и максимальные значения смещений стенки и шва в зависимости от размеров шва и его формы представлены в таблице 4.7. Зависимость максимального НДС шва от уровня взлива углеводородов представлена в таблице 4.8. По данным таблиц построены графики 4.9, 4.10, 4.11.

Таблица 4.7 – Зависимость суммарного напряжения и полного смещения модели резервуара в зоне врезки ПРП от формы и размеров дефекта

Дефект	Размеры		Стенка		Моделируемый шов	
	L, мм	h, мм	Полное смещение	Суммарные напряжения	Полное смещение	Суммарные напряжения
Без	-	-	15,9	194,58	11,14	148,55
Непровар	10	0,5	16,06	212,42	11,12	281,74
		1	16,92	215,25	11,11	287,55
		2	17,42	229,97	11,89	321,89
		4	17,43	232,72	12,03	305,03
		6	17,43	233,05	12,04	309,82
		8	17,42	233,11	12,04	301,38
		10	17,43	233,27	12,04	291,54
	2	1	17,43	230,00	12,04	302,05
		3	17,43	228,51	12,04	317,22
		5	17,43	239,28	12,04	309,22
		10	17,53	229,97	12,89	292,55
		25	17,42	245,38	12,37	300,21
		50	17,43	225,25	12,35	352,82
		100	17,52	217,65	12,33	405,60
		300	17,43	216,51	12,31	473,21

Таблица 4.8 – Зависимость НДС шва от уровня взлива

Дефект	Суммарные напряжения, МПа							
	Уровень 25%		Уровень 50%		Уровень 75%		Уровень 100%	
	Шов	Стена	Шов	Стена	Шов	Стена	Шов	Стена
Непровар L=300 мм, H=2 мм	46,22	68,08	183,00	100,21	368,72	155,31	473,21	216,51



Рисунок 4.9 – Зависимость суммарного напряжения модели резервуара в зоне врезки ПРП от ширины раскрытия непровара ($L = 10$ мм).

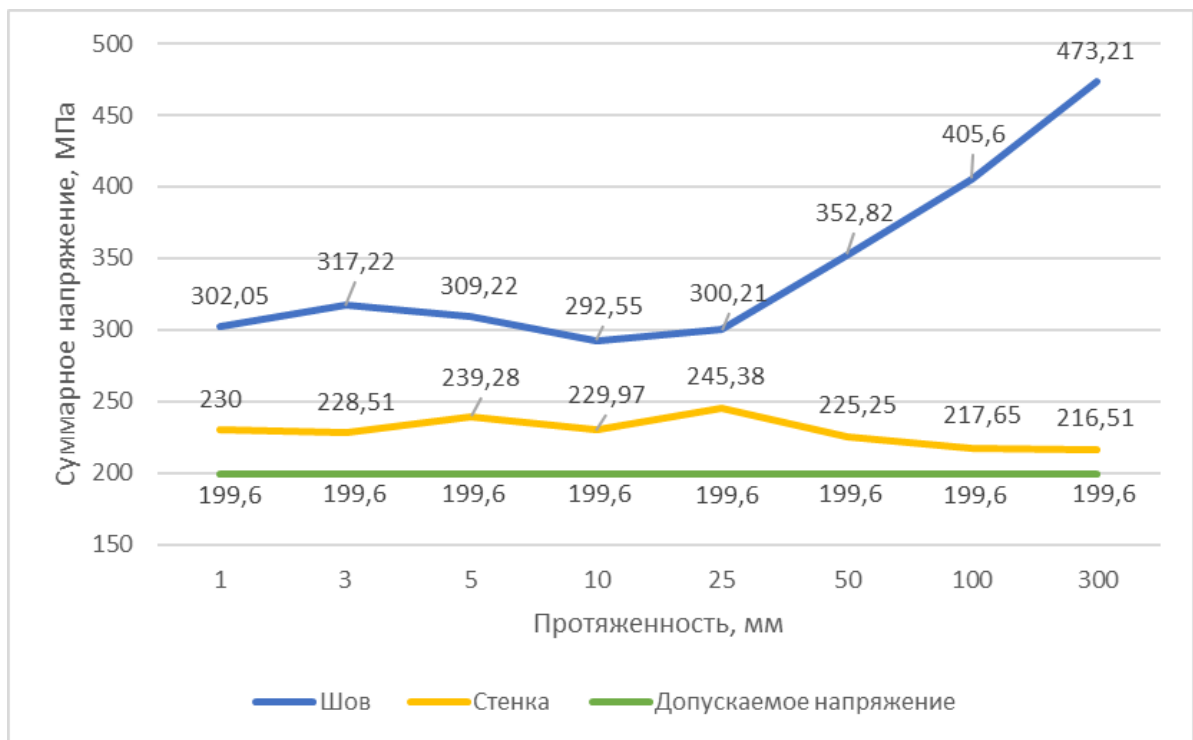


Рисунок 4.10 – Зависимость суммарного напряжения модели резервуара в зоне врезки ПРП от протяженности непровара ($H = 2$ мм).

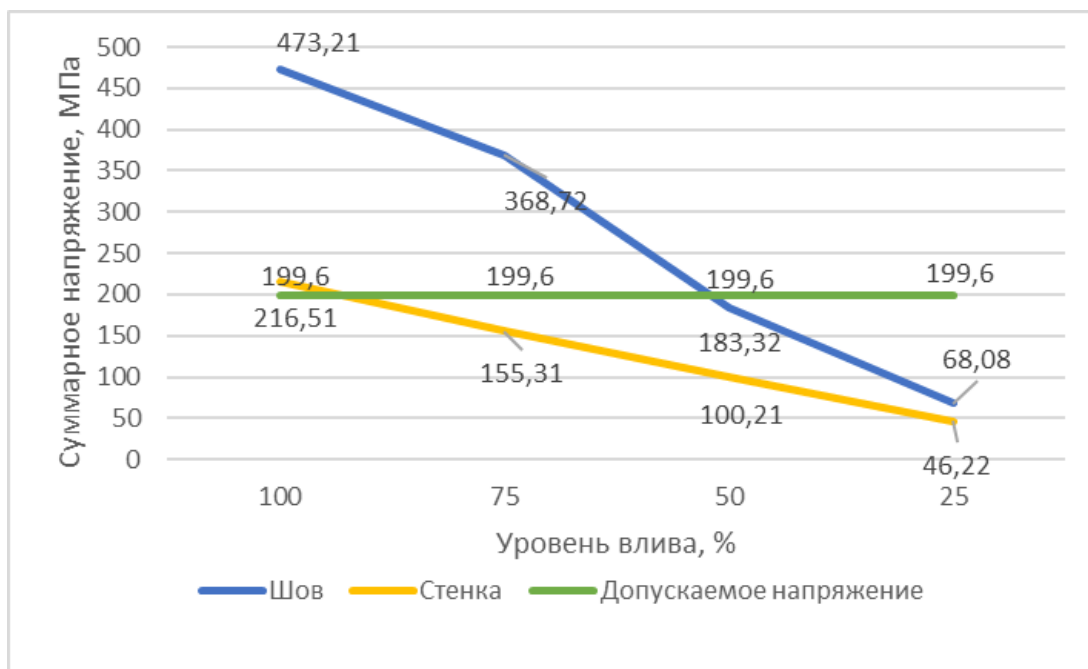


Рисунок 4.11 – Зависимость суммарного напряжения модели резервуара в зоне врезки ПРП от уровня влива нефти с учетом непровара ($L = 300$ мм $H = 2$ мм).

Вывод по главе

Собраны статистические данные по заводской дефектности сварных соединений резервуаров, определены минимальные, максимальные и средние размеры дефектов, что дает возможность оценить влияние дефектов сплошности на работу сварных соединений вертикальных резервуаров. Проведены исследования влияния концентраторов напряжений на прочностные характеристики металла.

					Определение напряженно-деформированного состояния резервуара численным методом расчета при воздействии дефектов сварного соединения стенки и приемо-раздаточного патрубка	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		74

5. Оценка влияния дефектов сварных соединений стенки и приемо-раздаточных патрубков на напряженно-деформированное состояние резервуара вертикального стального

Исходя из данных таблицы 4.7, а также графиков 4.10 и 4.11 видно, что наличие дефекта сварного соединения стенки и приемо-раздаточного патрубка наибольшее воздействие оказывает на НДС сварного шва. При наличии дефекта типа непровар всех исследуемых форм и размеров в сварном шве возникают напряжения значительно превышающие допускаемые напряжения шва на растяжение и сжатие. При таких условиях данные напряжения могут привести к разрыву сварного соединения и как следствие, к разгерметизации резервуара, аварийному разливу нефти. Воздействие же на стенку РВС приводит к возникновению суммарных напряжений, превышающих допускаемые на 10-20%. При этом максимальные суммарные напряжения меньше предела текучести стали в данном месте на 100-120 МПа. Таким образом, стенка резервуара находится в сложно-деформированном состоянии, при этом состояние, когда пластические деформации не исчезают после снятия нагрузки, не наступает. Напряжения же, возникающие в приемо-раздаточном патрубке, зачастую не превышают допускаемые. Таким образом, первоочередной задачей для предотвращения разрушения резервуара является снижения суммарных напряжений в зоне сварного шва. Осуществить данное мероприятие возможно двумя способами: приостановить эксплуатацию резервуара и провести внеплановый ремонт сварного соединения, либо, в случае невозможности осуществления ремонта или остановки эксплуатации, снизить максимальный уровень разлива на 50 % от проектного (Согласно полученным данным – рис. 4.11). Принятие того или иного решения по борьбе с влиянием дефекта сварного соединения зависит от обстановки.

					<i>Оценка влияний дефектов сварных соединений стенки и приемо-раздаточных патрубков на напряженно-деформированное состояние резервуара вертикального стального</i>			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				
<i>Разраб.</i>		<i>Кирченко Н.Н.</i>			<i>Оценка влияния дефектов сварных соединений стенки и приемо-раздаточных патрубков на напряженно-деформированное состояние резервуара вертикального стального</i>	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Руковод.</i>		<i>Никульчиков А.В.</i>					74	119
<i>Консульт.</i>						ТПУ гр. 2Б7Б		
<i>Рук-ль ООП</i>		<i>Брусник О.В.</i>						

Следует отметить, что снижение уровня взлива является лишь временным решением, который имеет свои недостатки. Так уровень взлива не должен быть меньше минимального допустимого уровня, иначе это может привести к прорыву воздуха в приемо-раздаточный патрубок резервуара.

					<i>Оценка влияния дефектов сварных соединений стенки и приемо-раздаточных патрубков на напряженно-деформированное состояние резервуара вертикального стального</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		75

6. Социальная ответственность

Введение

Исследование напряженно-деформированного состояния резервуара при наличии дефектов сварных швов в зоне соединения стенки и приемо-раздаточных патрубков является очень важной задачей, поскольку этот процесс позволяет наглядно изучить проблему и сделать необходимые выводы о дальнейшей эксплуатации резервуара или выведению его из эксплуатации для ремонта. Основная проблема при наличии данных дефектов резервуара — это разгерметизация, которая приведет к катастрофическим последствиям (взрыв, пожар, розлив), дальнейшая эксплуатация такого объекта будет или невозможна, или стоить большого количества затрат на его восстановление. Необходимую информацию о наличии дефектов сварных соединений можно получить в ходе полного технического диагностирования резервуара.

Процесс контроля на опасных производственных объектах представляет ответственное мероприятие, связанное с жизнью людей и их благополучием. Контроль проводится на основании систем нормативно-технической документации, включающей различные нормы и правила, устанавливающих требования к составу и объемам работ при диагностировании РВС. По этой причине выполнять работы имеют право только специалисты, которые обучены и аттестованы в соответствии с требованиями ПБ 03-440-02.

При подготовке и выполнении работ по полной диагностике резервуара имеют место вредные и опасные проявления факторов производственной среды для человека. Это происходит как из-за особенностей рабочего места дефектоскописта, так и по причине вредности самих методов диагностического контроля, например, такого как радиографический метод контроля.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Оценка влияния дефектов сварных соединений стенки и приемо-раздаточных патрубков на напряженно-деформированное состояние резервуара вертикального стального			
Разраб.		Кирченко Н.Н.			Социальная ответственность	Лит.	Лист	Листов
Руковод.		Никulichиков А.В.					74	119
Консульт.								
Рук-ль ООП		Брусник О.В.						
					ТПУ гр. 2Б7Б			

6.1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

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

- Закон об основах охраны труда в РФ №181-ФЗ от 17.07.1999 г (с изменениями от 20 мая 2002 г., 10 января 2003 г., 9 мая, 26 декабря 2005 г.).
- Федеральный закон о промышленной безопасности опасных производственных объектов 116-ФЗ от 21.07.1997г. с изменениями от 7.08.2000 г.
- Трудовой кодекс №197-ФЗ (с изм. и доп., вступ. в силу с 13.04.2014)
- Правила безопасности в нефтяной и газовой промышленности ПБ 08624-03
- Инструкции по технике безопасности предприятия.
- Порядок разработки деклараций безопасности промышленного объекта РФ. МЧС, Госгортехнадзор №222/59 от 4.04.1996 г.
- ГОСТ 12.0001-82 ССБТ «Система стандартов безопасности труда»
- ОСТ 51.81.82 ССБТ «Охрана труда в газовой промышленности»
- Санитарные нормы проектирования промышленных предприятий. СНиП 2.2.1/2.1.1.567-96 от 31.10.1996 г.
- Пожарная охрана предприятий. Общие требования. НБТ-201-96, утв. 01.03.1992г.
- Правила пожарной безопасности РФ ППБ-01-93. МВД РФ 14.12.1993 г., дополнения к ним от 25.07.1995 г.

Организации, осуществляющие деятельность на опасных производственных объектах, в том числе техническую диагностику резервуаров, обязаны:

- выполнять требования промышленной безопасности, содержащиеся в федеральных законах, нормативных правовых актах Российской Федерации, нормативных и технических документах, принятых в установленном порядке;

					<i>Социальная ответственность</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		78

- иметь в штате работников, удовлетворяющих соответствующим квалификационным требованиям, в количестве, необходимом для осуществления деятельности, прошедших проверку знаний (аттестацию) по охране труда и промышленной безопасности в соответствии с требованием ОР- 03.180.00-КТН-222-09;

- обеспечивать проведение подготовки и аттестации руководителей, специалистов и работников в области промышленной безопасности в порядке, установленном федеральными надзорными органами;

- иметь в наличии нормативные правовые акты и нормативные технические документы, включая нормативные документы Ростехнадзора, необходимые для осуществления деятельности по технической диагностике резервуаров;

- иметь согласованные в установленном порядке с надзорными органами методики проведения технической диагностики;

- выполнять распоряжения и предписания, выданные уполномоченными надзорными органами;

- проводить работы по технической диагностике резервуаров в объёме, предусмотренном программой и методиками диагностики

Для обеспечения промышленной безопасности необходимо:

- выполнять работы на основании лицензий, выданных органами, уполномоченными в области промышленной безопасности;

- применять на опасных производственных объектах только сертифицированные технические устройства, разрешённые к применению Ростехнадзором.

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

6.2. Производственная безопасность

Производственная (трудовая) безопасность – это комплексная система мер защиты человека на производстве от различных вредных и опасных факторов, которые могут повлиять на здоровья и жизнь человека.

Требования по охране труда определяются действующими законодательными актами Российской Федерации, Федеральными нормами и правилами, решениями и указаниями органов государственного надзора, министерств и ведомств.

Работы по подготовке РВС к полной технической диагностике являются работами повышенной опасности вследствие потенциальной возможности влияния опасных и вредных факторов (таблица 6.1):

- вредными производственными факторами называют те факторы, которые приводят к заболеванию, в том числе усугубляющие уже имеющиеся заболевания;

- опасными производственными факторами называют факторы, приводящие к травме, в том числе смертельной [18]

а) анализ вредных и опасных факторов.

Таблица 6.1 – Опасные и вредные факторы при выполнении работ полного технического диагностирования РВС 20000 м³

Факторы (по ГОСТ 12.0.003-2015)	Откачка нефти из резервуара	Зачистка резервуара и дегазация	Обследование резервуара	Нормативные документы
Запыленность и загазованность воздуха рабочей среды	+	+	+	ГОСТ 12.1.005-88 СанПиН 1.2.3685-21 Р 2.2.2006-05 СП 60.13330.2016
Работа с повышенными температурами (водяной пар)	-	+	-	РД 102-76-87

Продолжение таблицы 6.1 – Опасные и вредные факторы при выполнении работ полного технического диагностирования РВС 20000 м³

Работа с химическими веществами.	-	+	-	ГОСТ 12.1.007-76
Наличие рентгеновского, радиационного, магнитного, акустического излучений. Воздействие ультразвука.	-	-	+	СанПиН 2.6.1.2523-09 ГОСТ 12.1.001-89 ГОСТ 12.1.006-84 ГОСТ 12.1.003-2014
Тяжесть и напряженность физического труда.	+	+	+	ГОСТ 12.2.033-78 Р 2.2.2006-05
Недостаточная освещенность на рабочем месте.	+	+	+	СП 52.13330.2011
Работа в сложных погодных условиях.	+	+	+	ГОСТ 12.1.005-88
Оборудование, работающее под давлением выше атмосферного.	+	-	-	ГОСТ 12.2.044-80 ГОСТ 12.2.003-91
Работа с электрооборудованием.	+	-	+	ГОСТ 12.2.007.0-75
Расположение рабочего места на значительной высоте относительно поверхности земли.	-	+	+	ГОСТ 12.2.033-78
Взрывоопасность	+	+	+	РД 153-39ТН-012-96 ГОСТ 12.1.010-76
Пожароопасность	+	+	+	ГОСТ 12.2.003-91

б) Обоснование мероприятий по защите персонала предприятия от действия опасных и вредных факторов.

1. Работа в сложных погодных условиях

Из-за особенностей климата Западной Сибири обслуживающему персоналу приходится работать при воздействии солнечных лучей, при атмосферных осадках, сильном ветре, в условиях низких и высоких температур от минус 30°С до плюс 40°С. Нормирование параметров на открытых площадках не производится, но определяются конкретные мероприятия по снижению неблагоприятного воздействия их на организм рабочего.

трудом. Тяжелый и напряженный физический труд может повлиять на общее самочувствие рабочего и привести к развитию различных заболеваний.

У людей, занятых тяжелым и напряженным физическим трудом, должен быть 8-ми часовой рабочий день с обеденным перерывом и периодическими кратковременными перерывами, а также должна быть увеличена заработная плата и продолжительность отпуска [21].

4. Наличие рентгеновского, радиационного, магнитного, акустического излучений.

Основными видами опасности для персонала при радиографическом контроле являются воздействие на организм ионизирующего излучения и вредных газов, образующихся в воздухе под воздействием излучения, и поражение электрическим током

В месте производства работ устанавливаются размеры и маркируется знаками радиационной опасности зона, в пределах которой мощность дозы излучения превышает 0,3 мбэр/час [22].

Знаки радиационной опасности и предупреждающие надписи ставятся вокруг зоны и должны быть видны на расстоянии не менее 3 метров.

В процессе дефектоскопии производится постоянный дозиметрический контроль каждого работника службы дефектоскопии. После выполнения работ по каждому объекту доза облучения записывается в санитарную книжку радиографа. Суммарная индивидуальная доза за год не должна превышать 5 бэр [23].

Ультразвуковое оборудование должно соответствовать требованиям ГОСТ 12.2.051. Запрещается непосредственный контакт работающих с рабочей поверхностью оборудования в процессе его обслуживания, жидкостью и обрабатываемыми деталями во время возбуждения в них ультразвука.

Для защиты рук от возможного неблагоприятного воздействия контактного ультразвука в твердой или жидкой средах необходимо применять

					<i>Социальная ответственность</i>	Лис
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		83

две пары перчаток - резиновые (наружные) и хлопчатобумажные (внутренние) или только хлопчатобумажные [24].

Защита персонала от воздействия магнитного излучения осуществляется путем проведения организационных (выбор рациональных режимов работы оборудования; ограничение места и времени нахождения персонала в зоне воздействия) и инженерно-технических мероприятий (поглотители мощности, экранирование и пр.), а также использования средств индивидуальной защиты.

К средствам индивидуальной защиты относятся защитные очки, щитки, каски, защитная одежда.

5. Выполнение газоопасных работ.

Работы внутри резервуара, связанные с осмотром, чисткой, ремонтом, проведением технической диагностики относятся к газоопасным работам.

Газоопасными считаются те работы, где имеются или не исключена возможность поступления на место проведения работ взрыво- и пожароопасных или вредных паров, газов и других веществ, способных вызвать взрыв, возгорание, оказание вредного воздействия на организм человека, а также работы при недостаточном содержании кислорода (объемная доля ниже 20 %).

Газоопасные работы регламентируются ОР-03.100.30-КТН-150-11 Порядок организации огневых, газоопасных и других работ повышенной опасности на взрывопожароопасных и пожароопасных объектах организаций.

К газоопасным работам допускают только при наличии наряда-допуска. Перед началом работ необходимо провести анализ воздушной среды на содержание взрывоопасных и вредных газов.

Каждый участвующий в газоопасных работах должен иметь подготовленный к работе шланговый противогаз. Во всех случаях на рабочего, находящегося в емкости, должен быть надет спасательный пояс с сигнально-спасательной веревкой.

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

6. Работа с электрооборудованием.

При обследовании резервуаров используются приборы, которые имеют автономное питание или могут работать от сети переменного тока напряжением 220 вольт.

Опасной для жизни считается сила тока 10 миллиампер и выше, наиболее опасная частота 40-60 Гц [25].

Если используются приборы напряжением 220 вольт, принимаются меры, исключающие соприкосновение тела человека и токоведущих частей и проводки с металлом резервуара, для чего необходимо:

- усилить изоляцию в местах ввода электропроводки в резервуар;
- исключить совместную прокладку заземляющего провода и электропроводки;
- исключить прокладку электропровода в сырых местах резервуара;
- питающие провода не должны иметь оголенных мест.

На рабочем месте под ноги укладывается резиновый коврик или надевается резиновая обувь. Используются индивидуальные и коллективные СИЗ.

Если используются приборы напряжением 220 вольт, принимаются меры, исключающие соприкосновение тела человека и токоведущих частей и проводки с металлом резервуара, для чего необходимо:

- усилить изоляцию в местах ввода электропроводки в резервуар;
- исключить совместную прокладку заземляющего провода и электропроводки;
- исключить прокладку электропровода в сырых местах резервуара;
- питающие провода не должны иметь оголенных мест.

На рабочем месте под ноги укладывается резиновый коврик или надевается резиновая обувь. Используются индивидуальные и коллективные СИЗ.

					<i>Социальная ответственность</i>	Лис
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		85

7. Работы на высоте

К работам на высоте относятся все работы, выполняемые выше 1 метра от уровня земли или рабочего настила. Работы, выполняемые на высоте более 5 метров, относятся к верхолазным. Такие работы имеют место при диагностике сварных соединений стенки резервуара, плавающей крыши и др.

При невозможности устройства ограждений работы должны выполняться с применением предохранительного пояса и страховочного каната.

К средствам индивидуальной защиты от падения с высоты работников, относятся системы обеспечения безопасности на высоте, в том числе: предохранительные пояса по ГОСТ 32489 и канаты страховочные по ГОСТ 12.4.107. Работники, выполняющие работы на высоте, должны пользоваться касками по ГОСТ 12.4.087 с застегнутым подбородочным ремнем.

Выполняются с учетом Правила по охране труда при работе на высоте (утверждены приказом Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 28.03.2014 № 155н).

8. Повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей среды.

При проведении работ по зачистке резервуара контроль воздушной среды проводится внутри и снаружи резервуара. Периодичность контроля воздушной среды должна составлять не реже 1 раза в 30 мин. Разрешается работа без противогаза при загазованности воздуха парами нефти и газа менее 300 мг/м³.

Для дегазации зоны производства работ должны применяться взрывозащищенные переносные вентиляционные установки либо принудительное естественное вентилирование.

Работы по очистке и промывке внутренних стен резервуара должны выполняться рабочими в шланговых или изолирующих противогазах, специальной одежде и обуви без стальных накладок. Продолжительность пребывания в шланговом противогазе не должна

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

превышать 15 мин, а последующий отдых на чистом воздухе должен быть не менее 15 мин [26].

Источниками пыли при работе в резервуаре могут быть: шлифовка при ремонте оборудования, зачистка внутренней и наружной поверхности резервуара и оборудования. Содержание пыли в воздухе не должно превышать 0,5 мг/м³.

6.3. Экологическая безопасность

Перед проведением полной технической диагностики резервуара необходимо вывести резервуар из эксплуатации, опорожнить, произвести зачистку и дегазацию. А после, в зависимости от результатов диагностики, проводится ремонт и/или восстановление антикоррозионного покрытия. Все эти работы должны проводиться с соблюдением правовых, нормативных, инструктивных и методических документов по охране окружающей среды.

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

- при пескоструйной очистке металлической поверхности резервуара под нанесение защитного антикоррозионного покрытия;
- при обезжиривании металлической поверхности конструкций резервуара протиркой уайт-спиритом;
- при окраске поверхности металлических конструкций эмалевыми красками;
- при работе двигателей транспортной, строительно-монтажной техники.

После установления норм предельно допустимых выбросов (временно согласованных выбросов), загрязняющих веществ в атмосферу на НПС должен быть организован контроль за их соблюдением путем ведения журналов ПОД.

В целях снижения уровня загрязнения атмосферы выбросами углеводородов при опорожнении резервуаров осуществляют мероприятия по сокращению потерь нефти (нефтепродуктов).

					<i>Социальная ответственность</i>	Лис
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		87

Для снижения негативных последствий при экологических последствиях, возникающих зачистке резервуаров на почвенно-растительный покров должны быть предусмотрены мероприятия:

- сбор твердых отходов в контейнеры-накопители;
- сооружение подъездных дорог в каре резервуара с покрытием железобетонными дорожными плитами в местах переездов через подземные технологические нефтепроводы и инженерные коммуникации;
- сбор кварцевого песка (отработанного);
- сбор отходов ржавчины металла и старого лакокрасочного покрытия;
- утилизация промышленных и бытовых отходов.

При зачистке резервуаров образуются следующие виды отходов:

- вода после зачистки резервуара от остатков нефти;
- шлам от зачистки резервуаров;
- твердые отходы при очистке конструкций резервуара от ржавчины и старых лакокрасочных покрытий;
- отработанные обтирочные материалы (ветошь);
- твердые бытовые отходы.

Отходы, полученные в результате очистки резервуара и не подлежащие дальнейшему использованию на предприятиях, должны быть утилизированы или размещены в специально отведенных местах, согласованных с территориальными органами санэпиднадзора и органами, уполномоченными в области охраны окружающей природной среды и экологической безопасности.

При работах на резервуаре связанных с очисткой внутренней поверхности резервуара от остатков нефти (нефтепродуктов) и с проведением гидравлических испытаний возникают отрицательные факторы воздействия на состояние поверхностных и подземных вод.

Нормы предельно – допустимого сброса загрязняющих веществ со сточными водами устанавливаются в разрешениях на специальное водопользование в соответствии с НВМ 33-5.1.02.

					<i>Социальная ответственность</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		88

4) производство работ без соблюдения необходимых организационно-технических мероприятий;

5) отказ электрооборудования и исчезновение электроэнергии;

6) факторы внешнего воздействия (ураганы, удары молнией и т.д.);

7) коррозия оборудования.

а) Разработка предупредительных мер

Планово-предупредительные мероприятия по предотвращению возможных разливов нефти включает три основные группы мероприятий:

природоохранных и прочих служб предусмотрена возможность выхода диспетчера на внешние сети радиосвязи.

Каждый исполнитель при обнаружении критических неисправностей, утечек, деформации резервуара во время технического обслуживания и ремонта, должен выполнить следующее:

– незамедлительно сообщить начальнику смены о месторасположении и характере неисправности;

– предупредить окружающих об опасности, выставить на безопасном расстоянии вокруг повреждённого резервуара предупредительные знаки, а при имеющейся возможности, организовать постоянное дежурство.

При необходимости, если авария будет отнесена к категории ЧС необходимо привлечь другие бригады, а также сторонние организации, с которыми заключены договоры для ликвидации последствий ЧС.

Тушение возможных пожаров, проведение связанных с ними аварийно-спасательных работ осуществляется силами ДПД и нештатных аварийных формирований, а также силами опорного пункта.

Выполнение работ по тушению пожаров и проведению связанных с ними аварийно-спасательных работ, осуществляется в соответствии с законодательством РФ, в том числе нормативными правовыми актами Министерства РФ по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий (МЧС России).

					Социальная ответственность	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		90

Все отказы в работе резервуаров подлежат отдельному расследованию и учету действующей комиссией, состоящей из председателя (заместителя начальника цеха), ведущего технолога, механика цеха, мастера участка, специалистов по ОТ и ПБ, службы охраны окружающей среды и бухгалтерии.

Комиссия устанавливает причины аварии, конкретных виновников, намечает необходимые мероприятия по предупреждению подобных аварий в дальнейшем. По окончании расследования необходимо составить, подписать и утвердить в двух экземплярах акт «Порядок проведения работ по установлению причин инцидентов на опасных производственных объектах». Все отказы необходимо зарегистрировать в журналах учета отказов в течение 24 часов с момента их возникновения [27].

6.5. Пожарная безопасность

Пожарная безопасность резервуаров и РП в соответствии с требованиями РД-13.100.00-КТН-183-13, РД-13.220.00-КТН-148-15 и ГОСТ 12.1.004 должна обеспечиваться за счет:

- предотвращения разлива и растекания нефти/нефтепродуктов;
- предотвращения образования на территории РП горючей паровоздушной среды и предотвращения образования в горючей среде источников зажигания;
- противоаварийной защиты, способной предотвратить аварийный выход нефти/нефтепродуктов из резервуаров, оборудования, трубопроводов;
- организационных мероприятий по подготовке персонала, обслуживающего РП, к предупреждению, локализации и ликвидации аварий, аварийных утечек, а также пожаров и загораний.

С целью предотвращения чрезвычайных ситуаций, связанных с возникновением взрывов или пожаров, необходимо применить следующие меры безопасности:

- перед началом работ в ремонтном котловане переносным газоанализатором проверяется уровень загазованности воздушной среды, при

					<i>Социальная ответственность</i>	Лис
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		91

этом содержание паров нефти и газов не должно превышать предельно – допустимой концентрации по санитарным нормам;

- работа разрешается только после устранения опасных условий, в процессе работы следует периодически контролировать загазованность, а в случае необходимости обеспечить принудительную вентиляцию;

- для обеспечения пожаро- и взрывобезопасности работники должны быть оснащены спецодеждой, спецобувью и другие средства индивидуальной защиты (очки, перчатки, каски и т.д.), которые предусмотрены типовыми и отраслевыми нормами.

РП и отдельно стоящие резервуары должны оснащаться СПТ, в том числе автоматическими, и СВО согласно РД-13.220.00-КТН-142-15 [28]. Для обеспечения пожарной безопасности создается пожарная охрана численностью и оснащением пожарной техникой в соответствии с РД-13.220.00-КТН-018-12.

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

7. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Введение

В настоящее время, более 70% эксплуатирующего оборудования в России выработало свой ресурс. Число вводимых в эксплуатацию новых резервуаров уверенно увеличивается в течении последнего десятилетия. Известно, что аварии и отказы происходят в начальный период эксплуатации из-за дефектов монтажа, затем следует период безаварийной работы, а после 15-20 лет эксплуатации количество отказов, аварийных ситуаций резко возрастает, вследствие накопления повреждений, возникших при эксплуатации. Одними из наиболее опасных объектов, были и остаются различные виды резервуаров. В системе трубопроводного транспорта, например, более 3000 РВС находятся в эксплуатации более 50 лет, свыше 1000 РВС - от 40 до 50 лет. Экономически выгодная эксплуатация резервуара не может быть обеспечена без должного наблюдения за техническим состоянием и своевременным устранением неполадок. Нарушение прочности и герметичности в резервуарах в большинстве случаев вызывается совокупностью различных неблагоприятных воздействий на конструкции. Элементы резервуара в эксплуатационных условиях испытывают значительные быстроменяющиеся температурные режимы, повышение давления, вакуум, вибрацию, неравномерные осадки и коррозию. Практически каждый из резервуаров представляет собой объект повышенной опасности для персонала предприятия, населения, соседних сооружений и окружающей среды. Также можно отметить, что резервуары, как и любой технический объект, имеют свой ресурс и каждое предприятие стремится повысить экономическую эффективность производства товаров или услуги с наименьшими издержками, что означает отсутствие потерь в использовании ресурсов.

					Оценка влияния дефектов сварных соединений стенки и приемораздаточных патрубков на напряженно-деформированное состояние резервуара вертикального стального			
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата				
Разраб.		Кирченко Н.Н.			Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Лит.	Лист	Листов
Руковод.		Никulichиков А.В.					93	119
Консульт.						ТПУ гр. 2Б7Б		
Рук-ль ООП		Брусник О.В.						

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

7.1.1. Потенциальные потребители результатов исследования

Продукт: Резервуар вертикальный стальной 20000 м3.

Целевой рынок: нефтяные и газовые компании.

Таблица 7.1 – Карта сегментирования рынка услуг по разработке интернет-ресурсов

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

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

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

Трехмерная модель имеет не мало важную роль для конструирования РВС, так как при создании трехмерной модели, в специальных программах, типа Ansys, можно смоделировать различные дефекты, в том числе сварных швов, и посмотреть, как резервуар будет вести себя в рабочем режиме при максимальных нагрузках. На основе расчетов и трехмерной модели ведется конструирование, устраняются выявленные недочеты.

7.1.2. Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

Детальный анализ конкурирующих разработок, существующих на рынке, необходимо проводить систематически, поскольку рынки пребывают в постоянном движении. Такой анализ помогает вносить коррективы в научное исследование, чтобы успешнее противостоять своим соперникам.

Важно реалистично оценить сильные и слабые стороны разработок конкурентов.

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

Для анализа конкуренции применяемых технических решений осуществим сравнение с двумя ведущими компании, осуществляющих техническое диагностирование и анализ напряженно-деформированного состояния РВС.

Производственное объединение «Уралнефтемаш» осуществляет проектирование резервуаров и объектов нефтегазовой отрасли, их изготовление и монтаж, а также их частичное или полное техническое диагностирование и ремонт в случае его необходимости.

АО «Транснефть - Диаскан» проводит диагностику промышленного оборудования, а также ремонт дефектов по ее результатам. В состав работ по техническому диагностированию входят методы контроля, которые позволяют оценить техническое состояние как отдельных элементов, так и всей конструкции резервуара в целом. По результатам технического диагностирования рассчитываются срок и условия безопасной эксплуатации как элементов и конструкций резервуаров, так и резервуара в целом с учетом выявленных дефектов.

					Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		95

Сравнительная таблица конкурирующих технических решений анализа НДС резервуаров вертикальных стальных представлена в таблице №7.2, где оценка технологий проведена по пятибалльной шкале: 1 –слабая позиция, 5 – сильная.

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum Vi \cdot Bi, \quad (33)$$

где K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

Vi – вес показателя (в долях единицы);

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

Соответственно наша разработка обозначается в таблице без индекса, под индексом 1 – «Уралнефтемаш», 2 – АО «Транснефть - Диаскан».

Таблица .7.2 – Сравнение конкурирующих технических решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б	Б _{к1}	Б _{к2}	К	К _{к1}	К _{к2}
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
Современная элементная база	0,10	5	4	5	0,50	0,40	0,50
Долговечность	0,11	5	5	5	0,55	0,55	0,55
Надежность	0,11	5	5	5	0,55	0,55	0,55
Безопасность	0,08	5	5	5	0,40	0,40	0,40
Простота эксплуатации	0,08	5	4	4	0,40	0,32	0,32
Точность измерений	0,09	5	5	5	0,45	0,45	0,45
Достоверность модели	0,09	5	4	4	0,45	0,36	0,36
Быстродействие	0,08	4	4	5	0,32	0,32	0,40
Экономические критерии оценки эффективности							
Цена	0,11	5	4	3	0,55	0,44	0,33
Доступность	0,07	5	4	4	0,35	0,28	0,28
Конкурентоспособность	0,08	4	5	5	0,32	0,40	0,40
Итого	1	53	49	50	4,84	4,47	4,54

Коэффициент конкурентоспособности:

$$K = \frac{K}{K_{\text{ср}}} = \frac{4,84}{(4,47+4,54)/2} = 1,07 \quad (34)$$

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Лист
						96

$K > 1$, следовательно, предприятие конкурентоспособно. Основываясь на данных полученных с таблицы 7.1, можно заключить, что разработанная методика анализа НДС резервуара конкурентоспособна с методами, применяемыми другими востребованными на рынке компаниями. Наибольшими преимуществами являются долговечность, надежность, достоверность полученной модели и точность измерения.

7.1.3. 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.

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

Результаты первого этапа SWOT-анализа:

1. Сильные стороны проекта:

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

2. Слабые стороны проекта:

- Трудность внедрения функции;
- Отсутствие на предприятии подготовленных кадров.

3. Возможности:

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

					Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		97

4. Угрозы проекта:

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

После того как сформулированы четыре области SWOT переходим к реализации второго этапа. Вторым этапом является выявление соответствия сильных и слабых сторон научно-исследовательского проекта внешним условиям окружающей среды. Это соответствие или несоответствие должны помочь выявить степень необходимости проведения стратегических изменений.

При анализе интерактивной матрицы возможностей и сильных сторон проекта можно выделить следующие сильно коррелирующие возможности и сильные стороны проекта: В1С1, В2С2С3, В3С2.

При анализе матрицы возможностей и слабых сторон проекта выделили следующие сильно коррелирующие возможности: В1Сл2; В2Сл1; В3Сл2.

При анализе интерактивной матрицы угроз и сильных сторон проекта определили следующие сильно коррелирующие угрозы и сильные стороны проекта: У1С2, У3С1С2.

При анализе интерактивной матрицы угроз и слабых сторон проекта выделили следующие сильно коррелирующие угрозы и сильные стороны проекта: У1Сл1Сл2, У2Сл1.

В рамках третьего этапа составляем итоговую матрицу SWOT-анализа (таблица 7.3).

Таблица 7.3 – Матрица SWOT

	Сильные стороны научно-исследовательского проекта: С1. Высокая экономичность технологии; С2. Повышение безопасности производства; С3. Уменьшение затрат на ремонт оборудования.	Слабые стороны научно-исследовательского проекта: Сл1. Трудность внедрения функции; Сл2. Отсутствие на предприятии подготовленных кадров, способных произвести внедрение функции программного обеспечения прогнозирования надежности резервуаров.
--	---	--

Продолжение таблицы 7.3 – Матрица SWOT

<p>Возможности:</p> <p>В1. Повышение эффективности работы предприятия за счет модернизации.</p> <p>В2. Снижение аварийности.</p> <p>В3. Качественное обслуживание потребителей.</p>	<p>1. Достижение бесперебойности работы резервуарного парка;</p> <p>2. Исключение поломок оборудования в результате сбоев в электроснабжении;</p> <p>3. Своевременная поставка нефти и природного газа потребителям.</p>	<p>1. Поиск заинтересованных лиц;</p> <p>2. Разработка научного исследования;</p> <p>3. Принятие на работу квалифицированного специалиста;</p> <p>4. Переподготовка имеющихся специалистов.</p>
<p>Угрозы:</p> <p>У1: Отсутствие спроса на новые производства;</p> <p>У2: Снижение бюджета на разработку;</p> <p>У3: Высокая конкуренция в данной отрасли</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>3. Сложность реализации проекта.</p>	<p>1. Приобретение необходимого оборудования ;</p> <p>2. Остановка проекта;</p> <p>3. Проведения других проектов.</p>

7.2. Планирование научно-исследовательских работ

7.2.1. Структура работ в рамках научного исследования

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

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

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

этапов и работ, распределение исполнителей по данным видам работ приведен в таблице 7.4.

Таблица 7.4 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

№ п/п	Основные этапы	Содержание работ	Исполнитель
1	Выбор темы исследования	Календарное планирование работ потеме	Руководитель, исполнитель
2		Выбор алгоритма исследований	Руководитель
3		Подбор и изучение материалов по теме	Исполнитель
4	Разработка тех. задания	Составление и утверждение тех. задания	Руководитель
5	Теоретические и экспериментальные исследования	Проведение теоретических расчетов и обоснование	Исполнитель
6		Проектирование модели и проведение экспериментов	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

7.2.2. Определение трудоемкости выполнения работ

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

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

$$t_{ож.і} = \frac{3t_{min.і} + 2t_{max.і}}{5}, \quad (35)$$

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

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

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

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях T_p , учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями. Такое вычисление необходимо для обоснованного расчета заработной платы.

$$T_{pi} = \frac{t_{ожi}}{Ч_i}, \quad (36)$$

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

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

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

7.2.3. Разработка графика проведения научного исследования

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

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

$$T_{кд} = T_{рд} \cdot K_{кд}, \quad (37)$$

где $T_{кд}$ – продолжительность выполнения работы в календарных днях;

$T_{рд}$ – продолжительность выполнения работы в рабочих днях;

$K_{кд}$ – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности рассчитывается по формуле:

$$K_{кд} = \frac{T_{кал}}{T_{кал} - T_{вых} - T_{пр}}, \quad (38)$$

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

$T_{вых} + T_{пр} = 66$ – количество выходных и праздничных дней в году;

Значение коэффициента календарности для 2021 года с учетом изменений для 6-дневной рабочей недели:

					Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		101

$$K_{\text{КД}} = \frac{365}{365 - 66} = 1,22$$

Все найденные значения сводим в таблицу 7.5.

Таблица 5 – Временные показатели проведения научного исследования

Вид работ	Трудоемкость работ			Исполнители	Продолжительность работ в рабочих днях $T_{\text{рi}}$	Продолжительность работ в календарных днях $T_{\text{кi}}$
	t_{min} , чел-дни	t_{max} , чел-дни	$t_{\text{ожi}}$, чел-дни			
Календарное планирование работ по теме	3	6	4,2	Руководитель, исполнитель	2	3
Составление и утверждение тех. задания	1	3	1,8	Руководитель	2	3
Подбор и изучение материалов по теме	8	15	10,8	Исполнитель	11	14
Согласование материалов по теме	5	8	6,2	Руководитель	6	8
Проведение теоретических расчетов и обоснование	10	20	14	Исполнитель	14	17
Проектирование модели РВС и проведение расчетов	5	8	6,2	Исполнитель	6	8
Оценка результатов исследования	8	15	11	Руководитель, Исполнитель	6	8
Выполнение дополнительных разделов ВКР и составление пояснительной записки	3	6	4,2	Руководитель, Исполнитель	2	3

На основе таблицы 7.5 строим план график Ганта, представленный в таблице 7.6.

Таблица 6 – Диаграмма Ганта

Вид работ	Исполнители	Т _к 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
Календарное планирование работ по теме	Исполнитель	3																
	Руководитель																	
Составление и утверждение тех. задания	Исполнитель	3																
Подбор и изучение материалов по теме	Исполнитель	14																
Согласование материалов по теме	Руководитель	8																
Проведение теоретических расчетов и обоснование	Исполнитель	17																
Проектирование модели РВС и проведение расчетов	Исполнитель	8																
Оценка результатов исследования	Исполнитель	8																
	Руководитель																	
Выполнение дополнительных разделов ВКР и составление пояснительной записки	Руководитель	3																
	Исполнитель																	

После составления календарного плана-графика проведения ВКР определили последовательность и сроки выполнения отдельных работ. В конце апреля – начале мая осуществлен перерыв в работе ввиду отъезда на преддипломную практику. Исходя из диаграммы, можно сделать вывод, что продолжительность выполнения проекта составляет 64 дня.

7.3. Бюджет научно-технического исследования

Планирование бюджета позволяет оценить затраты на проведение исследования до его фактического начала и позволяет судить об

					Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		103

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.

7.3.1. Расчёт прочих прямых затрат

Для проведения исследования напряженно-деформированного состояния резервуара вертикального стального, подверженного дефектам сварных швов воспользуемся стандартизированными данными для построения модели типичного резервуара объемом 20000 м³. Для выполнения построения трехмерной модели РВС, а также проведение численного анализа НДС необходимы специализированные программы. В нашем случае мы использовали Ansys, а также Space Claim, который также включен в программный комплекс Ansys. Также для составления отчета необходим текстовый редактор Microsoft Word. Данные программы бесплатны на базе удаленных серверов университета, чтобы ими воспользоваться необходимо лишь бесперебойное интернет подключение. Однако для того чтобы рассчитать рыночную стоимость проекта необходимо данные затраты включить в бюджет. В качестве аналогов применяемого программного комплекса выберем: аналог 1 – использование комплекса SolidWorks Premium как для создание трехмерной модели, так и для расчета напряженно-деформированного состояния; 2 – применение комплекса SolidWorks Premium (создание геометрии) + Ansys (расчет НДС); 3 – применение Autodesk Inventor (создание геометрии) + Ansys (расчет НДС). Срок лицензии для каждого комплекса примем равным 1 год. Затраты на материальные расходы для составления заключения надежности исследуемого объекта и составление акта нормирования дефектов сварного соединения прямо-раздаточного

					Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		104

патрубка и стенки РВС включают в себя канцелярские принадлежности, бумага, интернет, за исключением тех случаев, когда работа ведется в библиотеке либо в корпусе с научным руководителем. Предприятиям, заинтересованным в проведение подобных численных расчетов надежности резервуаров из их резервуарных парков, для получения данных о фактическом положении и размерах дефектов сварных швов в исследуемой зоне, потребуется заключить договор подряда с компанией, занимающейся диагностированием резервуара. Данная процедура обязательна для проведения. Для РВС до 20 лет включительно: частичное техническое диагностирование проводится один раз в 10 лет после пуска в эксплуатацию, последнего технического диагностирования или ремонта; полное техническое диагностирование проводится не реже чем один раз после пуска в эксплуатацию или через 10 лет после частичного технического диагностирования. Для РВС после 20 лет эксплуатации: частичное техническое диагностирование проводится один раз в 5 лет после последнего технического диагностирования или ремонта; полное техническое диагностирование проводится один раз в 10 лет после последнего ремонта или через 5 лет после частичного технического диагностирования.

Таким образом, в материальные затраты вошли расходы на приобретение лицензий на 1 год для специализированных программ. Данные расчета включим в таблицу 7.7.

Таблица 7.7 – Прочие прямые затраты

Программный комплекс	Стоимость годовой лицензии, руб	Применяемый метод	Аналог 1	Аналог 2	Аналог 3
Ansys	500000	+		+	+
SolidWorks Premium	370000		+	+	
Autodesk Inventor	100000				+
Сумма материальных затрат, тыс руб		500,000	370,000	870,000	600,000

7.3.2. Расчёт амортизационных отчислений

Процесс написания выпускной квалификационной работы согласно плану занимает 64 дня. Для проведения расчетов используется персональный компьютер с первоначальной стоимостью 60000 рублей, срок полезного пользования для офисной техники составляет от 3 до 4 лет.

Норма амортизации оборудования:

$$A_H = \frac{1}{T} \cdot 100\%, \quad (39)$$

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:

$$A_T = 60000 \cdot 33,3 = 20000 \text{ руб.}$$

Ежемесячная амортизация оборудования:

$$A_M = \frac{20000}{12} = 1667 \text{ руб.}$$

Сумма амортизации основных средств:

$$A = \frac{1667 \cdot 64}{30} = 3556 \text{ руб}$$

7.3.3. Заработная плата исполнителей

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

Статья включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением НТИ, (включая премии, доплаты)

					Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		106

и дополнительную заработную плату:

$$Z_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп}, \quad (40)$$

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

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

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

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_p, \quad (41)$$

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

T_p – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн. (табл. 5);

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

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{дн} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d}, \quad (42)$$

где Z_m – месячный должностной оклад работника, руб.;

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года: при отпуске в 48 раб. дней $M=10,4$ месяца, 6-дневная неделя;

F_d – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн. (табл. 7.8).

Таблица 7.8 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Исполнитель
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней - выходные дни/праздничные дни	66	66
Потери рабочего времени - отпуск/невыходы по болезни	62	72
Действительный годовой фонд рабочего времени	237	227

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_m = Z_{ТС} \cdot (1 + k_{пр} + k_d) \cdot k_p, \quad (43)$$

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

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

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

$k_{р}$ – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

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

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

Расчет основной заработной платы приведен в табл. 7.9.

Таблица 13 – Расчет основной заработной платы

Исполнители	$Z_{тс}$, тыс. руб.	$k_{пр}$	$k_{д}$	$k_{р}$	$Z_{м}$, тыс. руб.	$Z_{дн}$, тыс. руб.	Тр, раб. дн.	$Z_{осн}$, тыс. руб.
Руководитель	23264	0,3	0,4	1,3	51413	2,674	22	58,828
Исполнитель	14584	0	0	1,3	18959	1,126	56	63,056
Итого:								121,884

7.3.4. Дополнительная заработная плата исполнителей темы

Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы учитывают величину предусмотренных Трудовым кодексом РФ доплат за отклонение от нормальных условий труда, а также выплат, связанных с обеспечением гарантий и компенсаций (при исполнении государственных и общественных обязанностей, при совмещении работы с обучением, при предоставлении ежегодного оплачиваемого отпуска и т.д.).

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$З_{\text{доп}} = З_{\text{осн}} \cdot К_{\text{доп}}, \quad (44)$$

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

Таблица 7.10 – Расчет дополнительной заработной платы

Исполнители	$К_{\text{доп}}$	Зосн, тыс. руб.	Здоп, тыс.руб.
Руководитель	0,15	58,828	8,824
Исполнитель	0,15	63,056	9,458
Итого		121,884	18,282

7.3.5. 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:

$$З_{\text{внеб}} = К_{\text{внеб}} \cdot (З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}}), \quad (45)$$

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

Таблица 7.11 – Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнители	$К_{\text{внеб}}$	Зосн, тыс руб.	Здоп, тыс руб.	Звнеб, тыс руб.
Руководитель	0,302	58,828	8,824	20,431
Исполнитель	0,302	63,056	9,458	21,899
Итого				42,330

7.3.6. Накладные расходы

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

Накладные расходы рассчитываются:

$$Z_{\text{НАКЛ}} = 0,16 \cdot (Z_{\text{МАТ}} + Z_{\text{АМОР}} + Z_{\text{ОСН}} + Z_{\text{ДОП}} + Z_{\text{ВНЕБ}}) \quad (46)$$

Рассчитаем данную статью расхода и представим данные в виде таблицы 7.12.

Таблица 7.12 – Накладные расходы

Накладные расходы	Применяемый метод	Аналог 1	Аналог 2	Аналог 3
Сумма, тыс. руб	109,768	88,968	168,968	125,768

Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

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

Таблица 7.13 – Расчет бюджета затрат НИИ

№	Элементы затрат	Стоимость, тыс руб.			
		Применяемый метод	Аналог 1	Аналог 2	Аналог 3
1	Прочие прямые затраты	500,000	370,000	870,000	600,000
2	Амортизационные отчисления	3,556	3,556	3,556	3,556
3	Основная заработная плата	121,884	121,884	121,884	121,884
4	Дополнительная заработная плата	18,282	18,282	18,282	18,282
5	Отчисления во внебюджетные фонды	42,330	42,330	42,330	42,330
6	Накладные расходы	109,768	88,968	168,968	125,768
Итого		795,820	645,020	1225,020	911,820

7.4. Определение ресурсной, финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования

7.4.1. 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.

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{\text{фин.р}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}}, \quad (47)$$

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

Φ_{pi} – стоимость i -го варианта исполнения;

Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта (в т.ч. аналоги).

Результаты расчета интегрального финансового показателя представим в виде таблицы.

Таблица 7.14 – Интегральный финансовый показатель разработки

	Применяемый метод	Аналог 1	Аналог 2	Аналог 3
$I_{\text{фин.р}}^{\text{исп.}i}$	0,650	0,527	1	0,744

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

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i, \quad (48)$$

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

a_i – весовой коэффициент i -го варианта;

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

n – число параметров сравнения.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности представлены в форме таблицы.

Таблица 7.15 – Оценка ресурсной эффективности НИ

Критерии \ Объект Исс-ия	Весовой коэффициент параметра	Используемый метод	Аналог №1	Аналог №2	Аналог №3
Создание геометрии	0,200	4	5	5	4
Задание параметров физики	0,200	5	4	5	4
Наложение сетки	0,190	5	3	5	5
Задание параметров материалов	0,100	5	3	3	4
Решение модели	0,190	5	3	4	4
Постобработка результатов	0,120	5	5	5	5
Итого	1	4,8	3,84	4,61	4,31

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

$$I_{исп.i} = \frac{I_{pi}}{I_{фин.р}} \quad (49)$$

Сравнение интегрального показателя эффективности вариантов исполнения разработки позволит определить сравнительную эффективность проекта и выбрать наиболее целесообразный вариант из предложенных. Сравнительная эффективность проекта ($\mathcal{E}_{ср}$):

$$\mathcal{E}_{ср} = \frac{I_{исп.1}}{I_{исп.2}}, \quad (50)$$

Обобщим полученные показатели в таблице 7.16.

Таблица 7.16 – Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Прим. метод	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,650	0,527	1	0,744
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,8	3,84	4,61	4,31
3	Интегральный показатель эффективности	7,38	7,28	4,61	5,79

С точки зрения финансовой и ресурсной эффективности, для решения поставленной в выпускной работе технической задачи был выбран наиболее подходящий, так как именно он имеет наибольший интегральный показатель эффективности. В нашем случае применялась полная техническая диагностика РВС, построение трехмерной модели в Space Claim (на базе Ansys), анализ напряженно-деформированного состояния в Ansys.

Вывод по разделу

В ходе выполнения данной части выпускной работы была доказана конкурентоспособность данного технического решения, был произведен SWOT-анализ. Также был посчитан бюджет НТИ – 795 820 руб., основная часть которого приходится на зарплату исполнителей проекта. Продолжительность выполнения работ составила 64 дня. Определение критических дефектов сварных швов выявленных в ходе анализа НДС позволяет предотвратить преждевременный выход РВС из строя, сократить затраты на его ремонт, а также предупредить вред окружающей среде. Все, вышперечисленные технико-экономические показатели проекта, позволяют сделать вывод о том, что предложенная методика учета дефектов сварных соединений приемо-раздаточных патрубков и стенки в ходе анализа напряженно-деформированного состояния является конкурентоспособным, экономически выгодным и ресурсоэффективным.

Общие выводы

В ходе проведения научно-исследовательской работы планируемые задачи были решены:

- определено напряженно-деформированного состояния стенки резервуара в зоне врезки патрубка аналитическим методом расчета;
- создана трехмерная модели зоны врезки приемо-раздаточного патрубка (ПРП) в стенку резервуара РВС-20000;
- определено НДС стенки резервуара в зоне врезки патрубка численным методом расчета и подтверждена информации о достоверности созданной модели;
- создана трехмерной модели зоны врезки приемо-раздаточного патрубка (ПРП) в стенку резервуара РВС-20000 с дефектами сварного соединения;
- произведена оценка суммарных напряжений при воздействии дефектов различной формы на сварное соединение стенки резервуара и приемо-раздаточного патрубка;
- предложены способы борьбы с негативным влиянием дефекта сварного соединения патрубка и стенки РВС.

Согласно полученным данным, дефекты типа непровар, оказывают значительное воздействие на напряженно-деформированное состояние сварного шва стенки и приемо-раздаточного патрубка резервуара.

Напряжения возникающие в сварном шве, имеющий данный дефект значительно превышают допустимые напряжения, следовательно это может привести к разгерметизации резервуара и к экологической катастрофе. Таким образом, дефекты типа непровар, всех исследуемых размеров, являются недопустимыми. Данный дефект необходимо устранить в ходе непланового ремонта либо уменьшить его влияние до безопасного, снизив уровень влиза нефтепродукта до 50% от проектного.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Оценка влияний дефектов сварных соединений стенки и приемо-раздаточных патрубков на напряженно-деформированное состояние резервуара вертикального стального			
Разраб.		Кирченко Н.Н.			Общие выводы	Лит.	Лист	Листов
Руковод.		Никulichиков А.В.					114	119
Консульт.								
Рук-ль ООП		Брусник О.В.						
						ТПУ гр. 2Б7Б		

Список литературы

1. ГОСТ 31385-2016 Резервуары вертикальные цилиндрические стальные для нефти и нефтепродуктов. Общие технические условия/ Официальное издание. М.: Стандартиформ. – 2016 г.
2. ГОСТ 27751-2014 "Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения"/ Официальное издание. М.: Стандартиформ – 2019г.;
3. ГОСТ 14771-76 Дуговая сварка в защитном газе. Соединения сварные. Основные типы, конструктивные элементы и размеры/ М.: Стандартиформ – 2007 г.;
4. ГОСТ 19281-2014 Прокат повышенной прочности. Общие технические условия/ Официальное издание. М.: Стандартиформ – 2021 г.;
5. ГОСТ Р 55724-2013 Контроль неразрушающий. Соединения стальные. Методы ультразвуковые/ Официальное издание. М.: Стандартиформ - 2019 г.;
6. ГОСТ 23055-78 «Контроль неразрушающий. Сварка металлов плавлением. Классификация сварных соединений по результатам радиографического контроля»/ М.: ИПК Издательство стандартов-2005 г.;
7. СТО-СА-03-002-2009 Правила проектирования, изготовления и монтажа вертикальных цилиндрических стальных резервуаров для нефти и нефтепродуктов;
8. СП 16.13330.2017 Стальные конструкции/ Официальное издание. М.: Стандартиформ – 2017г.;
9. СП 20.13330.2011 «Нагрузки и воздействия»/ М.: Минрегион России – 2011 г.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата				
					<i>Оценка влияния дефектов сварных соединений стенки и приемораздаточных патрубков на напряженно-деформированное состояние резервуара вертикального стального</i>			
Разраб.		Кирченко Н.Н.			Список литературы	Лит.	Лист	Листов
Руковод.		Никольчиков А.В.					115	119
Консульт.								
Рук-ль ООП		Брусник О.В.						
						ТПУ гр. 2Б7Б		

10. СП 70.13330.2012 "СНиП 3.03.01-87 Несущие и ограждающие конструкции/ Официальное издание М.: Госстрой, ФАУ "ФЦС"-2013 г.
11. РБ 03-69-2013 "Руководство по безопасности вертикальных цилиндрических стальных резервуаров для нефти и нефтепродуктов" / Нормативные документы в сфере деятельности Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору. Серия 03. Документы межотраслевого применения по вопросам промышленной безопасности и охраны недр. Вып.69. - М.: ЗАО "НТЦ ПБ", 2013 год
12. ПБ 03-605-03 «Правила устройства вертикальных цилиндрических стальных резервуаров для нефти и нефтепродуктов»;
13. Руководство по безопасности "Рекомендации по техническому диагностированию сварных вертикальных цилиндрических резервуаров для нефти и нефтепродуктов" Официальное издание. / Нормативные документы в сфере деятельности Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору. Серия 08. Документы по безопасности, надзорной и разрешительной деятельности в нефтяной и газовой промышленности. Вып.29. Руководство по безопасности "Рекомендации по техническому диагностированию сварных вертикальных цилиндрических резервуаров для нефти и нефтепродуктов". - М.: ЗАО НТЦ ПБ, 2019 год
14. ГОСТ 9454 – 78. Металлы. Метод испытаний на ударный изгиб при пониженной, комнатной и повышенной температурах. – М.: Изд-во государственный строительный комитет СССР по стандартам, 1978. - 20 с.
15. СНиП 3.03.01-87. Строительные нормы и правила. Несущие и ограждающие конструкции. – М.: Изд-во Госстрой СССР, 1978. – 1989 с;
16. ГОСТ 33259-2015 Фланцы арматуры, соединительных частей и трубопроводов на номинальное давление до PN 250. Конструкция, размеры и общие технические требования (с Поправками)/ Официальное издание. М.: Стандартиформ-2016 г.;

					Список литературы	Лист
						116
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

17. ГОСТ 18442-80 Контроль неразрушающий. Капиллярные методы. Общие требования (с Изменениями N 1, 2)/ Контроль неразрушающий. Методы: Сборник стандартов. - М.: ИПК Издательство стандартов – 2005 г.;
18. ГОСТ 12.0.003-2015 Система стандартов безопасности труда. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация/ Официальное издание. М.: Стандартиформ – 2019 г.;
19. ГОСТ 12.1.005-88 Система стандартов безопасности труда. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны/ М.: Стандартиформ - 2008 г.;
20. ГН 2.2.5.1313 – 03. Предельно-допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны/ Гигиенические нормативы ГН 2.2.5.1313-03, издание официальное, Москва, 2003 г.;
21. ГОСТ 12.4.124-83 Система стандартов безопасности труда. Средства защиты от статического электричества. Общие технические требования/ Система стандартов безопасности труда: Сб. ГОСТов. - М.: ИПК Издательство стандартов – 2003 г.
22. СП 2.6.1.758–99. Нормы радиационной безопасности/ Минздрав России - М.: Департамент госсанэпиднадзора России – 1999 год
23. ГОСТ 7512-82 Контроль неразрушающий. Соединения сварные. Радиографический метод/ М.: Стандартиформ, официальное издание – 2008 г.
24. ГОСТ 12.4.011–89 ССБТ. Средства защиты работающих. Общие требования и классификация. Система стандартов безопасности труда: Сб. ГОСТов. - М.: ИПК Издательство стандартов – 2001 г.;
25. ГОСТ 12.1.030–81 ССБТ. Защитное заземление, зануление./
26. РД-153-39ТН-012-96 Инструкция по пожаровзрывобезопасной технологии очистки нефтяных резервуаров/ОАО АК Транснефть, – 1996г.
27. РД-13.100.00-КТН-183-13 Система управления промышленной безопасностью ОАО «АК «Транснефть». –2013 г. – 48 с.

					Список литературы	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		117

28. РД-13.220.00-КТН-148-15 Правила пожарной безопасности на объектах организаций системы «Транснефть». – 2019 г. – 65с.;
29. Тарасенко А.А., Хоперский Г.Г., Макаров А.И. Методы ремонта элементов конструкций стальных вертикальных цилиндрических резервуаров после длительной эксплуатации. Тюмень: АОТ «Сибнефтепровод», 1997. 264 с.;
30. Дергачев А.В. Повышение достоверности ультразвукового контроля сварных соединений стальных резервуаров: дис. канд. техн. наук/ Дергачев А.В.; Московский государственный Университет приборостроения и информатики – Москва, 2013, – 118 с;
31. Махутов Н.А. Сопротивление элементов конструкций хрупкому разрушению / Н.А. Махутов. –Москва: Изд-во Машиностроение, 1973.- 200с.;
32. Махутов Н.А. Сопротивление элементов конструкций хрупкому разрушению/Н.А. Махутов. –Москва: Изд-во Машиностроение, 1973.- 200с;
33. Васильев Г.Г. Оценка долговечности уторных узлов вертикальных цилиндрических резервуаров в процессе эксплуатации / Г.Г. Васильев, А.А. Катанов, Е.Е. Семин // Безопасность и эксплуатационная надежность. – 2012. - №4. –С 36-41;
34. Тарасенко А.А. Исследование влияния приемо-раздаточных патрубков на напряженно-деформированное состояние стенки вертикальных цилиндрических резервуаров / ТАРАСЕНКО А.А., НИКОЛАЕВ Н.В., ХОПЕРСКИЙ Г.Г., ОВЧАР З.М., САЯПИН М.В. // ИЗВЕСТИЯ ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ. НЕФТЬ И ГАЗ. – 1998 г. – №1 – с.59-68;
35. Прочность, устойчивость, колебания. Справочник, том 1. Под ред. И.А.Биргера и Я.Г.Пановко. -М.: «Машиностроение», 1968.;
36. Бруйка В.А., Фокин В.Г., Солдусова Е.А., Глазунова Н.А., Адеянов И.Е. Инженерный анализ в ANSYS Workbench: Учеб. пособ. СамГТУ, 2010.–271с.
37. Губайдулин Р.Г. Расчет металлических конструкций и сварных соединений на прочность с учетом хрупкого разрушения: учебное пособие /

					Список литературы	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		118

Р.Г. Губайдулин, А.К. Тиньгаев. – Челябинск: Изд – во Челябинский государственный технический университет, 1992. - 35с;

38. Землянский, А.А. Опыт выявления дефектов и трещин в крупноразмерных резервуарах для хранения углеводородов / А.А. Землянский, О.С. Вертынский // Инженерно – строительный журнал. -2011.- №7.- С. 40 -47.;

39. Зырянов, И.А. Надежность резервуаров и газопроводов в условиях крайнего Севера : учебное пособие / И.А. Зырянов, А.И. Левин и др.- Якутск: Изд – во Недрa, 2004. - 101 с.

					Список литературы	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		119