

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

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

### БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
«Оценка работоспособности кольцевых сварных соединений на магистральных газопроводах»

УДК 622.691.4.053-112.81

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2Б6А	Галимов Данил Ильдарович		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Зарубин Алексей Геннадьевич	к.х.н, доцент		

### КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Рыжакина Татьяна Гавриловна	к.э.н, доцент		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ассистент	Черемискина Мария Сергеевна	-		

### ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
<b>ОНД ИШПР</b>	Брусник Олег Владимирович	к.п.н, доцент		

## Запланированные результаты обучения по программе бакалавриата

### Планируемые результаты обучения

<i>Код результата</i>	<i>Результат обучения (выпускник должен быть готов)</i>	<i>Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон</i>
<b><i>В соответствии с универсальными, общепрофессиональными и профессиональными компетенциями</i></b>		
<b>Общие по направлению подготовки 21.03.01 «Нефтегазовое дело»</b>		
P1	Применять базовые естественнонаучные, социально-экономические, правовые и специальные знания в области самостоятельно учиться и непрерывно повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности	<i>Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (УК-1, УК-2, УК-6, УК-7, ОПК-1, ОПК-2), (ЕАС-4.2, АВЕТ-3А, АВЕТ-3i).</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-2, УК-3, УК-4, УК-5, УК-8, ОПК-2, ОПК-6, ОПК-7).</i>
<i>в области производственно-технологической деятельности</i>		
P3	Применять процессный подход в практической деятельности, сочетать теорию и практику при эксплуатации и обслуживании технологического оборудования нефтегазовых объектов	<i>Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (УК-1, УК-2, ОПК-2, ОПК-3, ОПК-5, ПК-1, ПК-2, ПК-3, ПК-6, ПК-7, ПК-8, ПК-9, ПК-10, ПК-11).</i>

<i>Код результата</i>	<i>Результат обучения (выпускник должен быть готов)</i>	<i>Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон</i>
P4	Оценивать риски и определять меры по обеспечению безопасности технологических процессов в практической деятельности и применять принципы рационального использования природных ресурсов и защиты окружающей среды в нефтегазовом производстве	<i>Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (УК-8, ОПК-6, ПК-12, ПК-13, ПК-14, ПК-15).</i>
<i>в области организационно-управленческой деятельности</i>		
P5	Эффективно работать индивидуально и в коллективе по междисциплинарной тематике, организовывать работу первичных производственных подразделений, используя принципы менеджмента и управления персоналом и обеспечивая корпоративные интересы	<i>Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (УК-3, УК-8, ОПК-3, ОПК-7, ПК-16, ПК-17, ПК-18), (ЕАС-4.2-h), (АВЕТ-3d).</i>
P6	Участвовать в разработке организационно-технической документации и выполнять задания в области сертификации нефтегазопромыслового оборудования	<i>Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (УК-2, ОПК-1, ОПК-2, ОПК-7, , ПК-19, ПК20, ПК-21, ПК-22).</i>
<i>в области экспериментально-исследовательской деятельности</i>		
P7	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 (УК-1, УК-2, ОПК-4, ОПК-5, ОПК-6, ПК-23, ПК-24, ПК-25, ПК-26).</i>

<i>Код результата</i>	<i>Результат обучения (выпускник должен быть готов)</i>	<i>Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон</i>
<i>в области проектной деятельности</i>		
Р8	Использовать стандартные программные средства для составления проектной и рабочей и технологической документации объектов бурения нефтяных и газовых скважин, добычи, сбора, подготовки, транспорта и хранения углеводородов	<i>Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (УК-2, ОПК-3, ОПК-5, ОПК-6, ПК-27, ПК-28, ПК-29, ПК-30), (АВЕТ-3с), (ЕАС-4.2-е).</i>
<b>Профиль «Эксплуатация и обслуживание объектов транспорта и хранения нефти, газа и продуктов переработки»</b>		
Р9	Применять диагностическое оборудование для проведения технического диагностирования объектов ЛЧМГ и ЛЧМН	<i>Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (ОПК-4, ОПК-5, ПК-9, ПК-14), требования профессионального стандарта 19.016 "Специалист по диагностике линейной части магистральных газопроводов".</i>
Р10	Выявлять неисправности трубопроводной арматуры, камер пуска и приема внутритрубных устройств, другого оборудования, установленного на ЛЧМГ и ЛЧМН	<i>Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (ОПК-5, ОПК-6, ПК-9, ПК-11), требования профессионального стандарта 19.010 "Специалист по транспортировке по трубопроводам газа".</i>

<i>Код результата</i>	<i>Результат обучения (выпускник должен быть готов)</i>	<i>Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон</i>
Р11	Оценивать результаты диагностических обследований, мониторингов, технических данных, показателей эксплуатации объектов ЛЧМГ и ЛЧМН	<i>Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (ОПК-6, ОПК-7, ПК-4, ПК-7, ПК-13), требования профессионального стандарта 19.010 "Специалист по транспортировке по трубопроводам газа".</i>

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

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

УТВЕРЖДАЮ:  
 Руководитель ООП ОНД ИШПР

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

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

В форме:

бакалаврской работы

Студенту:

Группа	ФИО
2ББА	Галимову Данилу Ильдаровичу

Тема работы:

«Оценка работоспособности кольцевых сварных соединений на магистральных газопроводах»	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	59-81/с от 28.02.2020

Срок сдачи студентом выполненной работы:	20.06.2020
--	------------

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<p><b>Исходные данные к работе</b></p> <p><i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<p>Объектом исследования являются дефекты кольцевых сварных соединений на магистральном газопроводе.</p>
---	--

<p><b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b></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>	<p>Рассмотрение методов диагностики сварных соединений, оценка работоспособности кольцевых сварных соединений.</p>
<p><b>Перечень графического материала</b> <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<p><b>Таблицы:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Категории аномалий кольцевого шва</li> <li>2. Структура многоуровневой системы оценки</li> <li>3. Типы расчетных критериев и методов расчета для уровней оценки работоспособности</li> <li>4. Исходные данные для оценки внутренних дефектов</li> <li>5. Оценочная карта для сравнения конкурентных решений</li> <li>6. Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)</li> <li>7. Матрица SWOT</li> <li>8. Интерактивная матрица проекта</li> <li>9. Итоговая матрица SWOT</li> <li>10. Перечень этапов, работ и исполнителей</li> <li>11. Временные показатели проведения научного исследования</li> <li>12. Календарный план-график проведения НИОКР по теме</li> <li>13. Сырье, материалы, комплектующие изделия и покупные полуфабрикаты</li> <li>14. Затраты на оборудование</li> <li>15. Основная заработная плата</li> <li>16. Дополнительная заработная плата</li> <li>17. Отчисления во внебюджетные фонды</li> <li>18. Расчет бюджета затрат НТИ</li> <li>19. Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта</li> <li>20. Сравнительная эффективность разработки</li> <li>21. Возможные опасные и вредные факторы</li> </ol> <p><b>Рисунки:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Схема сооружений магистрального газопровода</li> <li>2. Схема строения сварного соединения при сварке стыкового шва</li> <li>3. Частота отказов магистральных газопроводов в зависимости от причин в процентах</li> </ol>

	<ol style="list-style-type: none"> <li>4. Схематическое изображение трещины, расположенной вдоль шва</li> <li>5. Структурная схема комплекса диагностических работ на магистральных газопроводах</li> <li>6. Ультразвуковой контроль стыкового сварного соединения</li> <li>7. Радиографический контроль сварных соединений</li> <li>8. Схема определения линейных размеров одиночных дефектов</li> <li>9. Схематизация одиночного дефекта</li> <li>10. Номограмма с нанесенными для оценки дефектами</li> <li>11. Диаграмма целостность-разрушение второго типа. Параметр <math>L_T</math> контролирует вязкое разрушение, параметр <math>K_T</math> – разрушение по механизму развития трещины</li> <li>12. Внутренняя кольцевая трещина</li> <li>13. Рассматриваемый дефект на диаграмме целостность-разрушение</li> <li>14. Карта сегментирования рынка предоставляемых услуг</li> </ol>
--	--

**Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы**

*(с указанием разделов)*

Раздел	Консультант
«Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	Рыжакина Татьяна Гавриловна, доцент
«Социальная ответственность»	Черемискина Мария Сергеевна, ассистент

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

--

<b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b>	20.12.2019
---	------------

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Зарубин Алексей Геннадьевич	к.х.н, доцент		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2Б6А	Галимов Данил Ильдарович		

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

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
2Б6А	Галимов Данил Ильдарович

<b>Школа</b>	<b>ИШПР</b>	<b>Отделение</b>	<b>Отделение нефтегазового дела</b>
<b>Уровень образования</b>	Бакалавриат	<b>Направление/специальность</b>	21.03.01 Нефтегазовое дело

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Стоимость ресурсов научного исследования на выполнение работ: материальные затраты НТИ – 44651 руб., затраты на специальное оборудование – 310000 руб., основная заработная плата – 55491 руб., дополнительная заработная плата – 6659 руб., отчисления на социальные нужды -18643 руб., накладные расходы – 20395 руб.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	ВСН 467-85 «Производственные нормы расхода материалов в строительстве» Единые нормы амортизационных отчислений по постановлению Правительства РФ от 01.01.2002 № 1 (ред. от 07.07.2016); Приказ Минтруда России от 30.12.2016 № 851н «Об утверждении классификации видов экономической деятельности по классам профессионального риска» и др.
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Ставка налога на прибыль 20 % Страховые взносы 30 % Налог на добавленную стоимость 20 %

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

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	Проведение предпроектного анализа. Определение целевого рынка и проведение его сегментирования. Выполнение SWOT-анализа проекта
2. Определение возможных альтернатив проведения научных исследований	Определение целей и ожиданий, требований проекта. Определение заинтересованных сторон и их ожиданий.
3. Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок	Составление календарного плана проекта. Определение бюджета НТИ
4. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности	Проведение оценки экономической эффективности исследования оценки работоспособности кольцевых сварных соединений

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

1. Таблицы: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Оценочная карта для сравнения конкурентных решений</li> </ul>
--

- Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)
  - Матрица SWOT
  - Интерактивная матрица проекта
  - Перечень этапов, работ и исполнителей
  - Временные показатели проведения научного исследования
  - Календарный план-график проведения НИОКР по теме
  - Сырье, материалы, комплектующие изделия и покупные полуфабрикаты
  - Затраты на оборудование
  - Основная заработная плата
  - Дополнительная заработная плата
  - Отчисления во внебюджетные фонды
  - Расчет бюджета затрат НТИ
  - Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта
  - Сравнительная эффективность разработки
2. Рисунки:
- Карта сегментирования рынка предоставляемых услуг

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

02.03.2020

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Рыжакина Татьяна Гавриловна	Кандидат экономических наук		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2Б6А	Галимов Данил Ильдарович		

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
2Б6А	Галимов Данил Ильдарович

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

Тема ВКР:

<b>Оценка работоспособности кольцевых сварных соединений на магистральных газопроводах</b>	
<b>Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:</b>	
<p>1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения</p>	<p>Объект исследования: дефекты кольцевых сварных соединений. Область применения: линейная часть магистрального газопровода.</p>
<b>Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:</b>	
<p><b>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства;</li> <li>– организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.</li> </ul>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. ГОСТ 12.2.003-91 Оборудование производственное. Общие требования безопасности.</li> <li>2. ПБ 08624-03 Правила безопасности в нефтяной и газовой промышленности</li> <li>3. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила безопасного ведения газоопасных, огневых и ремонтных работ»</li> <li>4. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Основные требования к проведению неразрушающего контроля технических устройств, зданий и сооружений на опасных производственных объектах»</li> <li>5. Федеральный закон о промышленной безопасности опасных производственных объектов 116-ФЗ от 21.07.1997г. с изменениями от 7.08.2000.</li> <li>6. Трудовой кодекс №197-ФЗ (с изм. и доп., вступ. в силу с 16.12.2019)</li> </ol>
<p><b>2. Производственная безопасность:</b></p> <p>2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов</p> <p>2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия</p>	<p><b>Вредные факторы:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Загазованность воздушной среды</li> <li>2. Наличие ионизирующих излучений</li> <li>3. Повышенный уровень ультразвуковых колебаний</li> </ol> <p><b>Опасные факторы:</b></p>

	1. Взрывоопасность и пожароопасность 2. Поражение электрическим током
<b>3. Экологическая безопасность:</b>	Атмосфера: выброс природного газа. Гидросфера: загрязнение водных объектов отходами производства и мусором. Литосфера: 1. Повреждение почвенно-растительного покрова; 2. Загрязнение почвы отходами производства и мусором.
<b>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</b>	Возможные ЧС: наводнения, лесные пожары, выброс природного газа в атмосферу, взрыв природного газа. Наиболее типичная ЧС: взрыв природного газа.

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	02.03.2020
--	------------

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Черемискина Мария Сергеевна	-		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2Б6А	Галимов Данил Ильдарович		

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

Инженерная школа природных ресурсов (ИШПР)  
 Направление подготовки (специальность) 21.03.01 «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 2019/2020 учебного года)

Форма представления работы:

бакалаврская работа
---------------------

### КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:	20.06.2020
--	------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
14.03.2020	Обзор литературы	10
28.03.2020	Дефекты кольцевых сварных соединений и методы их диагностирования	15
15.04.2020	Основные подходы к оценке работоспособности сварных соединений	20
29.04.2020	Оценка работоспособности кольцевых сварных соединений	15
06.05.2020	Финансовый менеджмент	15
12.05.2020	Социальная ответственность	10
19.05.2020	Заключение	10
25.05.2020	Презентация	5

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Зарубин А.Г.	к.х.н, доцент		

**СОГЛАСОВАНО:**

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
<b>ОНД ИШПР</b>	Брусник О.В.	к.п.н, доцент		

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 84 с., 14 рис., 21 табл., 35 источников.

Ключевые слова: сварные соединения, оценка работоспособности, магистральный газопровод, дефекты сварных соединений, надежность эксплуатации магистрального газопровода.

Объектом исследования является (ются) дефекты кольцевых сварных соединений.

Цель работы – провести технико-экономическое обоснование продления срока эксплуатации кольцевых сварных соединений на магистральном газопроводе.

В процессе исследования проводились расчеты работоспособности двух дефектов кольцевого сварного соединения на магистральном газопроводе. Рассмотрены дефекты сварных соединений и методы их диагностики. Приведены мероприятия по охране труда и безопасности строительства, охране окружающей среды, технико-экономическая часть.

В результате исследования была рассчитана работоспособность двух дефектов на кольцевом сварном соединении магистрального газопровода. На основании полученных результатов было выявлено, что рассмотренные дефекты являются работоспособными согласно методу номограмм и расчетному методу.

Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики: внутритрубная дефектоскопия, диагностика методами неразрушающего контроля, схематизация и анализ данных, оценка работоспособности кольцевых сварных соединений.

Область применения: нефтегазовая промышленность.

Экономическая эффективность/значимость работы: методика оценки работоспособности кольцевых сварных соединений значительно снижает затраты на отбраковку сварных соединений.

В будущем планируется применение на объектах газового транспорта с целью технико-экономического обоснования работ по повышению надежности.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Оценка работоспособности кольцевых сварных соединений на магистральных газопроводах			
Разраб.		Галимов Д.И..			Реферат	Лит.	Лист	Листов
Руковод.		Зарубин А.Г.					14	84
Консульт.						ТПУ гр. 2Б6А		
Рук-ль ООП		Брусник О.В.						

## Термины и определения

В данной работе применены следующие термины с соответствующими определениями:

**внутрирубная диагностика:** Техническое диагностирование с использованием внутрирубных дефектоскопов.

**дефект сварного соединения:** Несплошность сварного соединения технологического или эксплуатационного происхождения, или отклонение геометрических параметров сварного соединения от номинальных значений, определяемых требованиями нормативной документации.

**магистральный газопровод:** Технологически неделимый, централизованно управляемый имущественный производственный комплекс, состоящий из взаимосвязанных объектов, являющихся его неотъемлемой технологической частью, предназначенных для транспортировки подготовленной в соответствии с требованиями национальных стандартов продукции (природного газа) от объектов добычи и/или пунктов приема до пунктов сдачи потребителям и передачи в распределительные газопроводы или иной вид транспорта и/или хранения

**неразрушающий контроль:** Область науки и техники, охватывающая исследования физических принципов, разработку, совершенствование и применение методов, средств и технологий технического контроля объектов, не разрушающего и не ухудшающего их пригодность к эксплуатации.

					Оценка работоспособности кольцевых сварных соединений на магистральных газопроводах			
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата				
Разраб.		Галимов Д.И.			Термины и определения	Лит.	Лист	Листов
Руковод.		Зарубин А.Г.					15	84
Консульт.								
Рук-ль ООП		Брусник О.В.						
						<b>ТПУ гр. 2Б6А</b>		

**работоспособное состояние:** Состояние изделия, при котором оно способно выполнять требуемую функцию при условии, что предоставлены необходимые внешние ресурсы.

**сварка:** Получение неразъемных соединений посредством установления межатомных связей между соединяемыми частями при их нагревании и (или) пластическом деформировании.

**сварное соединение:** неразъемное соединение, выполненное сваркой.

					<i>Термины и определения</i>	<i>Лист</i>
						16
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

## Обозначения и сокращения

В данной работе применены следующие сокращения:

ВТД – внутритрубная дефектоскопия;

ГСМ – горюче-смазочные материалы;

ДКС – дожимная компрессорная станция;

ДЦР – диаграмма целостность-разрушение;

КС – компрессорная станция;

ЛЧМГ – линейная часть магистрального газопровода.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Оценка работоспособности кольцевых сварных соединений на магистральных газопроводах			
Разраб.		Галимов Д.И..			Реферат	Лит.	Лист	Листов
Руковод.		Зарубин А.Г.					17	84
Консульт.						ТПУ гр. 2Б6А		
Рук-ль ООП		Брусник О.В.						

## Оглавление

Введение.....	20
1. Обзор литературы.....	22
1.1 Магистральный газопровод. Общие сведения .....	22
1.2 Особенности эксплуатации магистральных газопроводов подземной прокладки .....	23
1.3 Методы сварки труб линейной части магистрального газопровода .....	25
1.4 Концентраторы напряжений магистральных газопроводов.....	26
1.4.1 Характеристики стыковых сварных соединений выполненных дуговой сваркой плавлением .....	26
2. Дефекты кольцевых сварных соединений и методы их диагностирования	28
2.1 Дефекты сварных соединений .....	28
2.2 Внутритрубная дефектоскопия.....	31
2.3 Неразрушающие методы контроля качества сварных соединений .....	33
2.4 Схематизация дефектов.....	35
3. Основные подходы к оценке работоспособности сварных соединений .....	38
4. Оценка работоспособности кольцевых сварных соединений .....	41
4.1 Оценка работоспособности кольцевых сварных соединений вторым уровнем оценки на основе номограмм.....	42
4.2 Оценка работоспособности кольцевого сварного соединения вторым уровнем на основе расчетного метода .....	42
5. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение..	49
5.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения .....	49
5.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования .....	49
5.1.2 Анализ конкурентных технических решений .....	50
5.1.3 Технология QuaD .....	52
5.1.4 SWOT-анализ.....	54
5.2 Планирование научно-исследовательских работ.....	57

					Оценка работоспособности кольцевых сварных соединений на магистральных газопроводах			
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата				
Разраб.		Галимов Д.И.			Оглавление	Лит.	Лист	Листов
Руковод.		Зарубин А.Г.					18	84
Консульт.						<b>ТПУ гр. 2Б6А</b>		
Рук-ль ООП		Брусник О.В.						

5.2.1 Структура работ в рамках научного исследования .....	57
5.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ .....	58
5.2.3 Разработка графика проведения научного исследования .....	59
5.3 Бюджет научно-технического исследования .....	62
5.3.1 Расчет материальных затрат НТИ .....	62
5.3.2 Расчет затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ .....	62
5.3.3 Основная заработная плата исполнителей темы .....	63
5.3.4 Дополнительная заработная плата исполнителей темы.....	64
5.3.5 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления).....	64
5.3.6 Накладные расходы.....	65
5.3.7 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта .....	66
5.4 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования .	66
6. Социальная ответственность .....	70
6.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности .....	70
6.1.1 Специальные (характерные для рабочей зоны исследователя) правовые нормы трудового законодательства .....	70
6.1.2 Эргономические требования к правильному расположению и компоновке рабочей зоны .....	71
6.2 Производственная безопасность .....	72
6.2.1 Анализ вредных производственных факторов и мероприятия по их устранению .....	73
6.2.2 Анализ опасных производственных факторов и мероприятия по их устранению .....	76
6.3 Экологическая безопасность.....	76
6.3.1 Воздействие на атмосферу .....	77
6.3.2 Воздействие на литосферу и гидросферу .....	77
6.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	78
Заключение .....	80
Список использованных источников .....	81

## Введение

Трубопроводный транспорт является основным способом доставки газа от мест добычи и переработки к потребителю. Трубопроводы, сооружаемые для транспорта газа, могут иметь длину в несколько тысяч километров. Магистральный газопровод состоит из множества труб, соединенных между собой посредством сварки. Количество сварных соединений соответствует количеству труб, из которых построен газопровод.

Магистральные газопроводы в процессе эксплуатации подвергаются повышенным нагрузкам, которые оказывают неблагоприятное влияние на техническое состояние газопровода. Техническое состояние газопровода можно определить посредством внутритрубной дефектоскопии, которая позволяет выявить потенциально опасные участки газопровода и предоставляет данные о видах дефектов и их размерах.

Одними из самых уязвимых мест магистрального газопровода являются кольцевые сварные соединения [1]. Дефекты сварных соединений могут приводить к разгерметизации в газопроводе, что может стать причиной инцидента или аварии. Для обеспечения необходимого уровня безопасности проводится оценка работоспособности кольцевых сварных соединений с выявленными дефектами [2]. Устранение дефектов в сварных соединениях требует значительных ремонтных работ. По результатам расчета остаточной прочности стыкового сварного соединения с учетом наличия в нем дефекта технологического или эксплуатационного характера определяют соответствие технического состояния соединения нормативной или проектной документации. Если состояние сварного соединения неработоспособное, то оно нуждается в ремонте.

					Оценка работоспособности кольцевых сварных соединений на магистральных газопроводах			
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата				
Разраб.	Галимов Д.И.				Введение	Лит.	Лист	Листов
Руковод.	Зарубин А.Г.						20	84
Консульт.						ТПУ гр. 2Б6А		
Рук-ль ООП	Брусник О.В.							

С технической точки зрения, сварные соединения относятся к наиболее ответственным элементам магистральных газопроводов. Оценка их работоспособности является одним из определяющих факторов в обеспечении надежной и безопасной эксплуатации газопровода и представляет собой актуальную научно-техническую проблему [3].

Целью выпускной квалификационной работы является технико-экономическое обоснование продления срока эксплуатации кольцевых сварных соединений на магистральном газопроводе.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

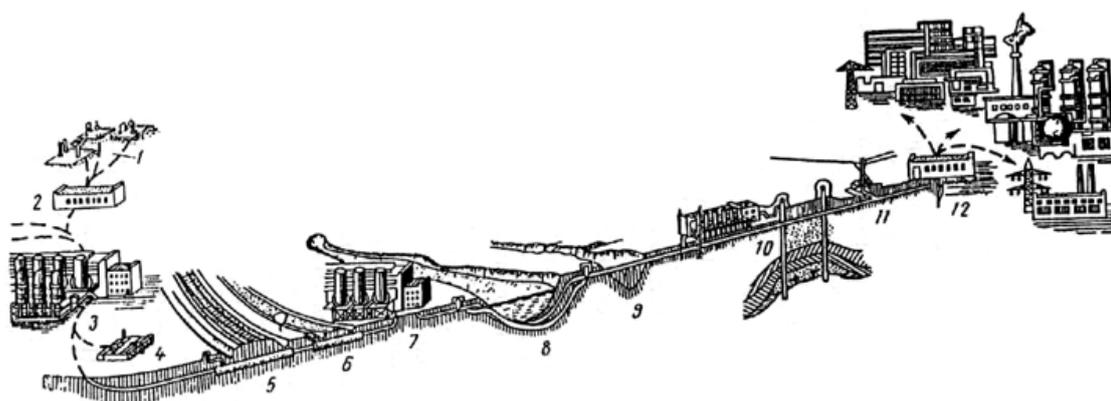
- 1) Изучение нормативно-технической документации в области надежности кольцевых сварных соединений магистральных газопроводов;
- 2) Рассмотрение возможных дефектов кольцевых сварных соединений и их влияния на надежность эксплуатации магистрального газопровода;
- 3) Проведение расчетов работоспособности кольцевых сварных соединений на основе номограмм и расчетным методом.

					<i>Введение</i>	<i>Лист</i>
						21
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

# 1. Обзор литературы

## 1.1 Магистральный газопровод. Общие сведения

Магистральный газопровод – технологически неделимый, централизованно управляемый имущественный производственный комплекс, состоящий из взаимосвязанных объектов, являющихся его неотъемлемой технологической частью, предназначенных для транспортировки подготовленной в соответствии с требованиями национальных стандартов продукции (природного газа) от объектов добычи и/или пунктов приема до пунктов сдачи потребителям и передачи в распределительные газопроводы или иной вид транспорта и/или хранения [4].



1 – промыслы; 2 – газосборный пункт; 3 – головная компрессорная станция; 4 – газораспределительная станция; 5, 6 – железнодорожный и автомобильный переходы; 7 – промежуточная компрессорная станция; 8,9 – переходы через овраг и реку; 10 – подземное газохранилище; 11 – станция катодной защиты; 12 – конечная газораспределительная станция

Рисунок 1 – Схема сооружений магистрального газопровода

В состав магистрального газопровода входят: линейные сооружения, система противокоррозионной защиты, линия связи, компрессорные станции, газораспределительные станции.

					Оценка работоспособности кольцевых сварных соединений на магистральных газопроводах			
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата				
Разраб.		Галимов Д.И.			Обзор литературы	Лит.	Лист	Листов
Руковод.		Зарубин А.Г.					22	84
Консульт.						ТПУ гр. 2Б6А		
Рук-ль ООП		Брусник О.В.						

В линейную часть входит трубопровод с переходами через естественные и искусственные преграды, резервные нитки при переходах через водные преграды, лупинги, крановые узлы, перемычки, камеры запуска и приёма очистных устройств, конденсатосборники, метанольницы, линии связи, линии электропередач, дома обходчиков, вертолетные площадки, грунтовые дороги, прокладываемые вдоль трассы трубопровода.

Длина магистрального газопровода имеет протяженность до тысяч километров. Магистральный газопровод имеет диаметр от 150 до 1420 мм. Трубопровод рассчитывается на рабочее давление 10 МПа [5].

Газопроводы проектируют сварными встык с установкой на них стальной запорной арматуры равнопроходного сечения, рассчитанной на рабочее давление в нем.

## **1.2 Особенности эксплуатации магистральных газопроводов подземной прокладки**

Протяженность магистральных газопроводов в России составляет 172,6 тыс. км [6]. Трубопроводный транспорт является самым распространенным и экономичным способом транспорта газа, не смотря на дорогостоящее обслуживание оборудования. Единая система газоснабжения распространена по всей стране и охватывает различные климатические зоны и типы местностей. К природно-климатическим особенностям относятся низкие температуры, промерзание грунта вокруг газопровода, периодическое обводнение территории, присутствие участков вечной мерзлоты.

Разрушения магистральных газопроводов опасны и могут влечь за собой тяжелые последствия. Особую опасность представляет возможность загазованности территории населенных пунктов, образование взрывоопасной смеси воздуха и природного газа, возгорание и загрязнение водоемов.

Металл труб в газопроводах работает в особых условиях, так как на него постоянно воздействует газ высокого давления. Специфика отличий эксплуатации металла труб обусловлена следующими факторами:

					Обзор литературы	Лист
						23
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

- 1) Один и тот же трубопровод из-за огромной его протяженности может пролегать в разных климатических зонах – от вечной мерзлоты до пустынь и полупустынь. Не только разность температур, но и тип грунтов влияет на возможность возникновения в трубопроводе пластических деформаций.
- 2) Металл труб работает в широком диапазоне температур в зависимости от времени года – от 40-60 °С в летний период и до минус 15 °С в зимний. Строительно-монтажные работы в болотистых или других труднодоступных местах могут проводиться только зимой при температурах до – 60 °С [13]. При изменении температуры изменяются осевые напряжения в упругой области работы трубопровода.
- 3) Металл труб практически постоянно работает в условиях двухосного напряженного состояния с различным отношением напряжений в кольцевом и продольном направлениях. Металл газопровода испытывает малоцикловые нагрузки, которые могут вызвать напряжения, достигающие предела текучести.
- 4) В металле газопровода присутствуют концентраторы напряжения. Это царапины, задиры и другие дефекты и повреждения. Они могут появляться как при проведении монтажных работ, так и в заводских условиях, и во время эксплуатации. Овальность сечения и наличие вмятин усиливает действие концентраторов напряжения.
- 5) В газопроводах накапливается большое количество упругой энергии сжатого газа, что служит причиной возникновения вязкого и хрупкого разрушения в условиях высоких динамических нагрузок.

Сопротивление появлению трещины в трубе магистрального газопровода определяется способностью металла и сварных соединений труб к локальной пластической деформации в концентраторе напряжений.

					Обзор литературы	Лист
						24
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Повышенная упругая энергия в металле резко уменьшает деформации, которые приводят к разрушению [7].

### **1.3 Методы сварки труб линейной части магистрального газопровода**

Сваркой называется процесс получения неразъемного соединения твердых материалов путем их местного сплавления или совместного деформирования, в результате чего возникают прочные связи между атомами свариваемых материалов. Сварка труб при прокладке магистрального газопровода является одним из важнейших процессов. Сварка во многом определяет уровень эксплуатационной надежности газопровода. Сварные соединения трубопровода подвергаются постоянным воздействием давления газа, растягивающим температурным напряжением и высокими нагрузками на изгиб. К методам соединения стальных газопроводов относятся:

- 1) Дуговая сварка;
- 2) Газовая сварка;
- 3) Стыковая контактная сварка.

Дуговая сварка основана на принципе возникновения электрической дуги между свариваемой деталью и электродом. При их соприкосновении происходит замыкание. В следствии этого, возникающая большая плотность тока, которая проходит через точку контакта, обеспечивает высокую температуру (более 5000 градусов по Цельсию). На поверхности электрода образуется расплавленный металл, который переходит на свариваемую деталь и смешивается с ее расплавленным материалом.

Газовая сварка – процесс плавления высокотемпературным газовым пламенем кромок деталей, в соответствии с определенной технологией.

При контактной сварке газопровод имеет стыкуемые торцы. Детали закрепляются в зажимах и сжимаются. Потом через них протекает ток большой силы и низкого напряжения. При этом на стыке деталей образуется

					Обзор литературы	Лист
						25
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

высокая температура, в следствие чего происходит плавление и соединение частей детали.

Согласно СТО Газпром 2-2.2-136, сварные соединения магистральных газопроводов должны быть выполнены дуговой односторонней сваркой без подварки или с подваркой корневого слоя шва или двухсторонней сваркой. Сварные швы должны быть многослойными, без конструктивного непровара [8].

#### **1.4 Концентраторы напряжений магистральных газопроводов**

К основным концентраторам напряжений в магистральном газопроводе можно отнести: стыковые сварные соединения, места соединения отводов с магистралью, узлы запорной арматуры, стыковое соединение труб различной толщины. Все перечисленные конструктивные элементы газопровода выполняются посредством сварки. Во время сварки металл трубопровода подвергается мощному термомодеформационному воздействию, которое определяет свойства сварного шва и околошовной зоны.

Кольцевым сварным соединения не подвергаются вниманию при капитальном ремонте газопровода. Это происходит из-за того, что большинство аварий происходит по причине стресс-коррозии. Однако отказы по причине дефектов сварных соединений составляют около 17 % от общего числа аварий на магистральных газопроводах ПАО «Газпром» [1].

При сравнении площади поверхности трубы, которые занимают сварные соединения и их термические зоны влияния, и оставшейся поверхности, можно сделать вывод, что хрупкое механическое или коррозионное разрушение наиболее вероятно в сварных соединениях [9].

##### **1.4.1 Характеристики стыковых сварных соединений выполненных дуговой сваркой плавлением**

Металл шва – зона сварного соединения, в которой из-за особенностей кристаллизации и активного протекания физико-химических процессов вероятно наибольшее изменение химического состава металла, наибольшая

					Обзор литературы	Лист
						26
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

неоднородность и наиболее возможно образование дефектов, таких как поры, горячие и холодные трещины.

Схема строения сварного соединения представлена на рисунке 2:

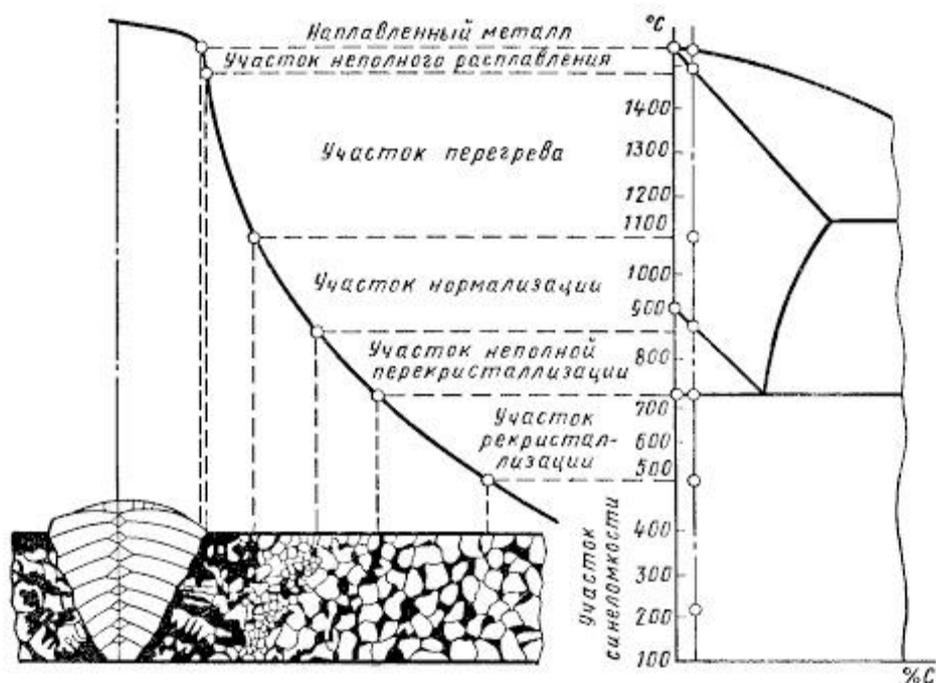


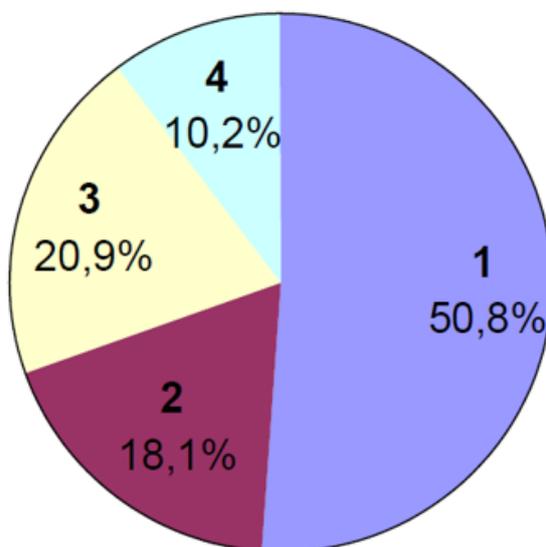
Рисунок 2 – Схема строения сварного соединения при сварке стыкового шва [10]

Изменения, происходящие в остальных зонах сварного соединения, незначительно влияют на прочность. В отдельных случаях могут наблюдаться худшие коррозионные свойства, повышенная твердость, худшая длительная прочность.

## 2. Дефекты кольцевых сварных соединений и методы их диагностирования

### 2.1 Дефекты сварных соединений

Основные причины отказов на магистральном газопроводе представлены на рисунке 3.



1 – коррозия; 2 – дефекты незаводских сварных швов; 3 – дефекты труб, нарушения правил эксплуатации, строительно-монтажные дефекты и т.п.; 4 – прочие отказы.

Рисунок 3 – Частота отказов магистральных газопроводов в зависимости от причин в процентах [11]

На рисунке 3 приведены данные об отказах на магистральных газопроводах. Анализ результатов показывает, что второй по распространенности причиной отказов на магистральном газопроводе является дефекты заводских сварных швов и составляет 18,1 %.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Оценка работоспособности кольцевых сварных соединений на магистральных газопроводах		
Разраб.		Галимов Д.И.			Лит.	Лист	Листов
Руковод.		Зарубин А.Г.				28	84
Консульт.					ТПУ гр. 2Б6А		
Рук-ль ООП		Брусник О.В.					
Дефекты кольцевых сварных соединений и методы их диагностирования							

Дефект сварного соединения – несплошность сварного соединения технологического или эксплуатационного происхождения, или отклонение геометрических параметров сварного соединения от номинальных значений, определяемых требованиями нормативной документации [2].

По расположению различаются дефекты наружные, внутренние и сквозные. Внутренний дефект характеризуется локальным нарушением целостности металла, целиком находящимся внутри кольцевого сварного соединения.

Основными внутренними дефектами являются:

- 1) Поры;
- 2) Шлаковые включения;
- 3) Несплавления по разделке;
- 4) Внутренние трещины.

Наружный или поверхностный дефект так же является локальным нарушением целостности металла, но имеет выход на внешнюю или внутреннюю поверхность трубы.

Основными наружными дефектами являются:

- 1) Непровары в корне;
- 2) Подрезы;
- 3) Поверхностные трещины.

Поверхностные дефекты выделяются в две группы дефектов: плоские (трещинноподобные) и объемные (каверны).

В сварных соединениях возможны специфические дефекты швов. Швы могут иметь неравномерные высоту и ширину, резкие переходы, подрезы. Характерным технологическим сварочным дефектом является прожог металла, который образуется в результате обрыва дуги при сварке. Прожоги могут способствовать развитию трещин.

Непровар – несплавление основного металла по всей длине шва или на участке, возникающее вследствие неспособности расплавленного металла проникнуть в корень соединения [12].

					<i>Дефекты кольцевых сварных соединений и методы их диагностирования</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		29

Распространенным и опасным дефектом сварного шва являются трещины. Трещины в зоне сварного шва подразделяются:

- 1) Горячие трещины в переходной зоне от шва к основному материалу. Возникают вследствие неправильной технологии сварки, неудовлетворительной конструкции изделия или неверного расположения швов;
- 2) Трещины в наплавленном металле. Могут быть продольными и поперечными. Образуются из-за неправильного выбранной марки присадочного материала; плохого качества присадочной проволоки; вследствие неправильных режимов и техники сварки; высокого внутреннего напряжения в шве; наличия шлаковых включений или пористости;
- 3) Трещины в кратере – углублении, которое образуется в основном металле в результате выдувания вольтовой дугой расплавленного металла. Возникают при сварке из-за избытка серы в электродах или в результате неправильно сваренного окончания шва;
- 4) Холодные трещины в шве и переходной зоне. Возникают во время остывания детали при пониженных температурах. Часто встречаются по причине неправильной техники сварки и неправильно выбранном присадочном материале;
- 5) Мелкие трещины или надрывы в переходной зоне. Образуются вследствие неправильно подобранной присадочной проволоки низкого качества [13].

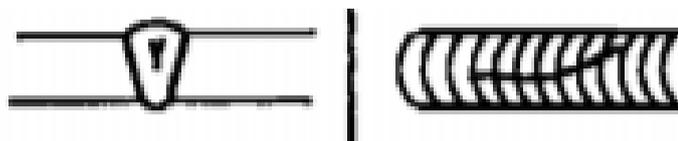


Рисунок 4 – схематическое изображение трещины, расположенной вдоль шва [14]

Еще одним опасным дефектом являются поры. Они возникают при попадании газа в расплавленный металл во время проведения операции сварки. Поры могут привести к образованию трещин.

					Дефекты кольцевых сварных соединений и методы их диагностирования	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		30

Перечисленные дефекты являются сильными концентраторами напряжений и приводят к перегрузке металла в зоне напряжения.

## 2.2 Внутритрубная дефектоскопия

Внутритрубная дефектоскопия позволяет проводить обследование линейной части газопровода на всем ее протяжении, выявлять несовершенства и дефекты в стенках труб, который могут являться причинами отказов и аварий. Для определения фактического технического состояния газопровода используются снаряды-дефектоскопы для выявления и идентификации различных видов несовершенств, повреждений и дефектов металла для дальнейшего прогнозирования их развития.

Комплекс диагностических работ, выполняемых при плановом диагностировании, в соответствии со схемой представлена на рисунке 5.



Рисунок 5 – Структурная схема комплекса диагностических работ на магистральном газопроводе [15]

Работоспособность и безопасность эксплуатации магистральных газопроводов обеспечивается следующим рядом мероприятий:

- 1) Проведение внутритрубной дефектоскопии;
- 2) Оценка допустимости выявленных аномалий, их ранжирование по степени опасности;

3) Проведение выборочных ремонтов на основе данных внутритрубной дефектоскопии и оценки работоспособности и остаточного ресурса поврежденных участков.

Все аномалии, выявленные при внутритрубной дефектоскопии, должны быть разделены в соответствии с действующей нормативной документацией на три категории, представленные в таблице 1.

Таблица 1 – Категории аномалий кольцевого шва [16]

Категории	Описание
«А»	Дефекты, подлежащие наружному обследованию в кратчайшие сроки, трубопровод в предаварийном состоянии.
«В»	Дефекты, подлежащие наружному обследованию в плановом порядке, эти дефекты могут стать причиной аварии.
«С»	Аномалии, допустимые при эксплуатации трубопровода без проведения наружного обследования, данные аномалии не приведут к аварии до следующего ВТД.

Если перевести вышеуказанные критерии в ресурс магистрального газопровода, уровень опасности дефектного сварного соединения означает:

«А» – дефект подлежит немедленному ремонту вырезкой;

«В» – обследование и ремонт дефекта производится в рамках планово-предупредительных работ;

«С» – идентификация отодвигается на срок, устанавливаемый результатами следующей внутритрубной дефектоскопией.

Для первых двух категорий аномалий составляется план наружного обследования, затем проводится само обследование. По результатам ВТД определяются и назначаются сроки следующего ВТД.

На основании ВТД формируется отчет, основная часть которого включает главу с результатами обработки данных дефектоскопов. В состав этой главы входит журнал выявленных особенностей, содержащий данные о

выявленных особенностях и их параметрах (ширина особенности, длина особенности, глубина максимальной глубины аномалии).

### **2.3 Неразрушающие методы контроля качества сварных соединений**

Согласно СТО Газпром 2-2.4-083-2006 при строительстве, реконструкции, ремонте и эксплуатации применяют следующие методы контроля качества сварных соединений:

- 1) визуальный и измерительный;
- 2) радиационный (радиографический);
- 3) ультразвуковой;
- 4) магнитопорошковый;
- 5) капиллярный.

При работах по контролю качества сварных соединений, которые находятся в эксплуатации, кольцевые сварные соединения контролируются в объеме 100 % [14].

Ультразвуковой контроль стыковых сварных соединений выполненных дуговой сваркой проводят в объеме 100 % для участков газопровода, которые не подвергались внутритрубной дефектоскопии. Если участок газопровода прошел внутритрубную диагностику, то производят 100 % контроль всех аномальных кольцевых сварных швов и выборочно проверяют остальные в объеме 20 %. При обнаружении дефекта при проведении выборочного контроля – необходимо увеличить объем контроля до 40 %, тех кольцевых сварных швов, которые не были проверены внутритрубной дефектоскопией.

					<i>Дефекты кольцевых сварных соединений и методы их диагностирования</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		33

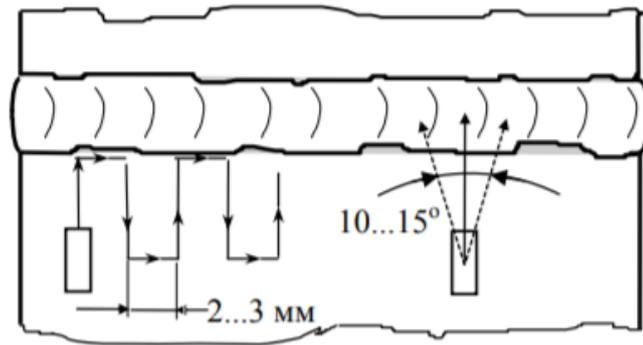


Рисунок 6 – ультразвуковой контроль стыкового сварного соединения [14]

На рисунке 6 показано, что сканирование производят продольно-поперечным перемещением преобразователя на  $10\text{--}15^\circ$  относительно линии поперечного перемещения.

С помощью ультразвукового контроля обнаруживают шлаковые включения, раковины, газовые поры, трещины и непровары. Оптимальная частота контроля зависит от свариваемого металла и толщины сварного шва.

В стыковых швах дефекты в основном ориентированы параллельно поверхностям кромок изделия. Для лучшего обнаружения этих дефектов искательные головки перемещают вблизи валика сварки зигзагообразно. Таким образом выявляемость дефектов зависит от угла наклона пьезоэлемента, расстояния до дефекта и ориентировки его относительно ультразвукового пучка и шага сканирования.

При контроле сварных швов ультразвуком надежно выявляются опасные дефекты – трещины и непровары по кромкам.

При применении ультразвукового метода предпочтение отдается автоматизированному ультразвуковому контролю. Ручной контроль используется для уточнения результатов автоматизированного контроля.

Радиографический контроль используется для уточнения результатов ультразвукового метода в объеме 20 % для магистральных газопроводов I категории, в объеме 10 % для магистральных газопроводов II-III категории и в объеме 5 % для магистральных газопроводов IV категории.

					Дефекты кольцевых сварных соединений и методы их диагностирования	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		34

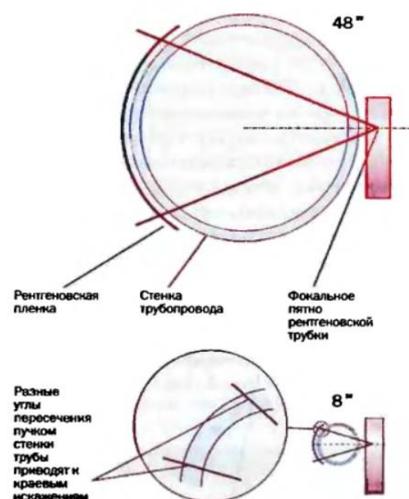
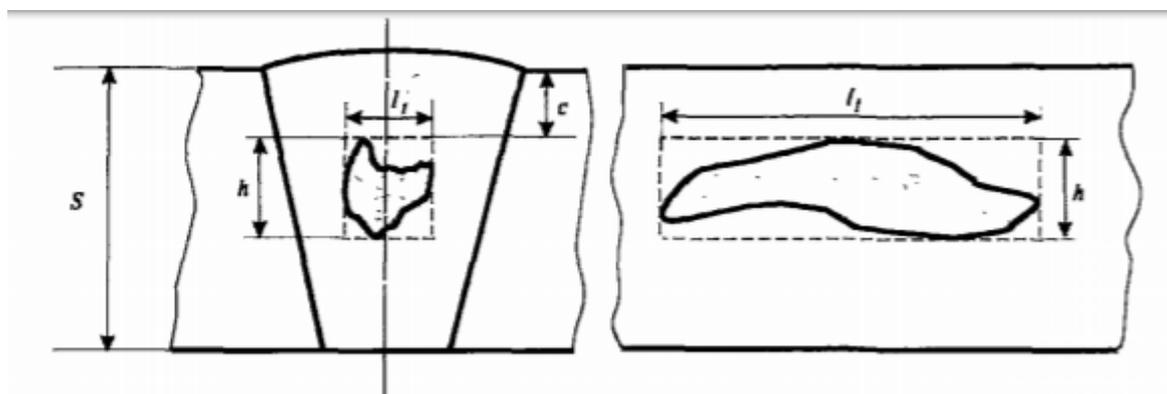


Рисунок 7 – радиографический контроль сварных соединений [17]

Капиллярный и магнитопорошковый методы контроля применяются для уточнения границ дефектных участков кольцевых сварных соединений магистрального газопровода, которые были выявлены другими методами неразрушающего контроля. Магнитный контроль используется при обнаружении дефектов, расположенных близко к поверхности газопровода.

## 2.4 Схематизация дефектов

Перед непосредственной оценкой работоспособности кольцевых сварных соединений при обнаружении дефекта визуальным, измерительным и неразрушающим методами контроля определяют размеры дефекта согласно рисунка 8.



$S$  – толщина стенки трубы;  $h$  – высота дефекта;  $l_1$  – ширина дефекта;  $l_2$  – длина дефекта;  $c$  – глубина залегания дефекта

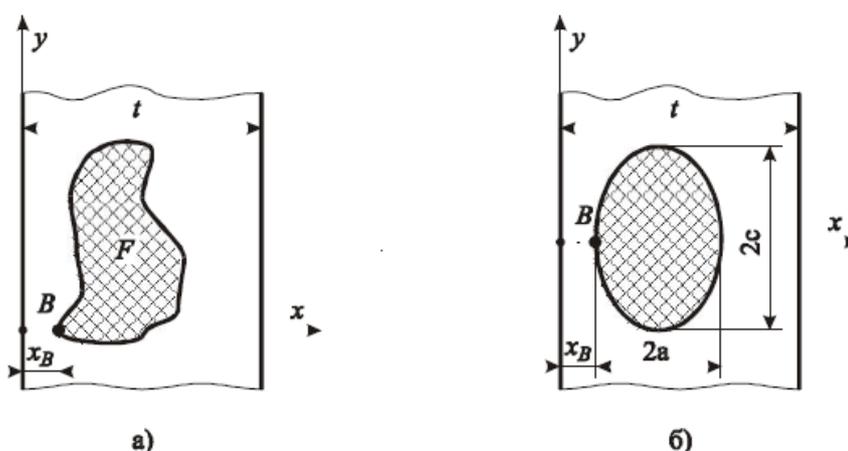
Рисунок 8 – схема определения линейных размеров одиночных дефектов [14]

					Дефекты кольцевых сварных соединений и методы их диагностирования	Лист 35
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

При оценке работоспособности сварных соединений магистральных газопроводов после определения типа и размера дефекта в стыковом соединении визуальными, измерительными и неразрушающими методами контроля, необходимо схематизировать обнаруженные дефекты. Для выполнения данного этапа необходимы алгоритмы, позволяющие адекватно интерпретировать данные дефектоскопического контроля и на их основе составлять расчетные схемы для всех обнаруженных групп дефектов.

Полученные в результате контроля дефекты (трещины, поры, включения, непровары, подрезы и т.д.) заменяют на расчетные дефекты-аналоги, которые в зависимости от типа дефекта – внутренний или наружный, соответственно заменяются эллиптическими или полуэллиптическими трещинами. Поверхностные и внутренние дефекты, глубина залегания которых менее одного миллиметра схематизируют исключительно полуэллиптическими трещинами. Если глубина залегания дефекта более одного миллиметра, то его заменяют эллиптической трещиной.

При схематизации дефектов необходимо учитывать, что современные методы контроля способны дать информацию лишь о некоторых размерах и параметрах дефекта, точные размеры возможно определить лишь в ограниченном ряде случаев.



а) реальный внутренний дефект; б) схематизированный внутренний дефект

Рисунок 9 – схематизация одиночного дефекта [2]

На рисунке 9 задана максимальная величина  $F$  площади дефекта и минимальное расстояние  $x_B$  от контура дефекта до свободной поверхности –

глубина расположения дефекта, на рисунке 8 это расстояние от свободной поверхности до точки *B*. Эквивалентным дефекту, изображенному на рисунке 8 а является эквивалентная эллиптическая трещина, изображенная на рисунке 8 б.

Размеры полуосей *a* и *c* определяют согласно формуле 1:

$$c = \left(\frac{2F}{\pi}\right)^{\frac{1}{2}}, a = \left(\frac{F}{2\pi}\right)^{\frac{1}{2}}. \quad (1)$$

Малую полуось *a* располагают по нормали *x* к ближайшей свободной поверхности. Вершина *B* малой полуоси эллипса и ближайшая к свободной поверхности точка исходного дефекта совпадают. Полуось *c* располагают в плоскости, нормальной к направлению действия максимальных растягивающих напряжений.

Если в кольцевом сварном соединении обнаружена группа близкорасположенных дефектов, то их схематизируют в зависимости от того являются одни взаимодействующими или нет согласно СТО Газпром 2-2.4-083-2006 [14].

					<i>Дефекты кольцевых сварных соединений и методы их диагностирования</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		37

### 3. Основные подходы к оценке работоспособности сварных соединений

Согласно СТО Газпром 2-2.4-715-2013, работоспособное состояние – состояние изделия, при котором оно способно выполнить требуемую функцию при условии, что предоставлены необходимые внешние ресурсы. В свою очередь работоспособность сварного соединения представляет собой способность сварного соединения выполнять требуемые функции при заданных нормативной и/или проектной документацией в условиях применения и технического обслуживания [2].

Оценка работоспособности основана на результатах расчета остаточной прочности кольцевого стыкового сварного соединения с учетом наличия в нем дефектов технологического или эксплуатационного характера.

На основании результатов внутритрубной дефектоскопии и последующего неразрушающего контроля возможно использование многоуровневой системы оценки работоспособности сварных соединений. СТО Газпром 2-2.4-715-2013 предполагает использование трехуровневой системы, которая подходит для расчета для дуговой и контактной сварки. Структура системы представлена в таблице 2.

Таблица 2 – Структура многоуровневой системы оценки [2]

Методы сварки	Дуговые			Контактные	
	1-й	2-й	3-й	2-й	3-й
ЛЧМГ	Т	Н, Р	Р	Н, Р	Р
КС, ДКС	Т	Н, Р	Р	-	-
Т – табличная оценка; Н – оценка работоспособности на основе номограмм; Р – оценка работоспособности по результатам расчета.					

					Оценка работоспособности кольцевых сварных соединений на магистральных газопроводах			
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата				
Разраб.		Галимов Д.И.			Основные подходы к оценке работоспособности сварных соединений	Лит.	Лист	Листов
Руковод.		Зарубин А.Г.					38	84
Консульт.						ТПУ гр. 2Б6А		
Рук-ль ООП		Брусник О.В.						

Структура уровней в системе оценки работоспособности сварных соединений сформирована с учетом применяемого метода сварки (дуговые и контактные) и характеристик объекта, на котором эксплуатируется оцениваемое сварное соединение (ЛЧМГ и площадные объекты КС, ДКС). Для сварных соединений выполненных дуговой сваркой возможно проведение всех трех уровней оценки, на выполненных контактной сваркой – только второго и третьего.

На первом уровне проводится сопоставление размеров расчетного дефекта-аналога с табличными значениями предельно допустимых дефектов заданного типа. Предельные размеры дефектов, приведенные в таблицах, предварительно определены на основе расчетного подхода, обеспечивающего получение заведомо консервативных оценок предельно допустимых размеров дефектов при заданных физико-механических свойствах основного металла, металла кольцевых стыковых сварных соединений магистрального газопровода и значениях нагрузок и воздействий.

На втором уровне оценка работоспособности выполняется на основании номограмм, которые строятся для нескольких типоразмеров труб при характерных свойствах основного металла и металла кольцевых сварных соединений и характерных режимах нагружения.

На третьем уровне по результатам анализа более полного перечня исходных данных о механических свойствах основного металла и металла сварного шва проводят расчет по одному из расчетных критериев с использованием расчетных моделей [2].

С целью выявления кольцевых стыковых сварных соединений, требующих безусловного вывода в ремонт или вырезки по признакам, которые могут быть выявлены без проведения расчетной оценки, предусмотрена возможность предварительной отбраковки кольцевых стыковых сварных соединений.

					<i>Основные подходы к оценке работоспособности сварных соединений</i>	Лист
						39
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Алгоритм оценки работоспособности включает в себя следующие этапы:

- 1) Анализ проектной, исполнительной и эксплуатационной документации;
- 2) Выбор уровня оценки;
- 3) Формирование и анализ исходных данных в соответствии с выбранным уровнем оценки;
- 4) Оценка работоспособности кольцевого стыкового сварного соединения с дефектами на основе критериев и методов, соответствующих выбранному уровню оценки.

Сварное соединение может быть признано годным по результатам любого из трех уровней оценки. Для разных уровней оценки существуют свои типы расчетного критерия и методы расчета.

Таблица 3 – Типы расчетных критериев и методов расчета для уровней оценки работоспособности

Уровень оценки	Тип расчетного критерия и метода расчета
Первый уровень	Независимые критерии трещиностойкости и пластичности
Второй уровень	Взаимозависимые критерии трещиностойкости и пластичности на основе универсальной диаграммы «целостность-разрушение»
Третий уровень	Взаимозависимые критерии трещиностойкости и целостности на основе диаграммы целостность-разрушение, построенной с учетом фактической диаграммы деформирования

В таблице 3 указаны все уровни оценки и типы расчетных критериев, соответствующие им.

#### 4. Оценка работоспособности кольцевых сварных соединений

По результатам проведенного внутритрубного диагностирования было обнаружено два внутренних дефекта на кольцевых сварных швах – внутренние трещины. В таблице 4 представлены исходные данные.

Таблица 4 – Исходные данные для оценки внутренних дефектов

Параметр	Значение параметра
Категория участка газопровода	III-IV
Рабочее давление, МПа	7,4
Минимальный радиус упругого изгиба оси трубопровода	Прямолинейный участок
Максимальный отрицательный температурный перепад, °С	30
Внешний диаметр $D_n$ , мм	1420
Номинальная толщина стенки трубы $t_{ном}$ , мм	15,7
Нормативный минимальный предел текучести ОМ $\sigma_{02}^{mat}$ , МПа	461
Нормативный минимальный предел прочности ОМ $\sigma_B^{mat}$ , МПа	588
Продольное напряжение $S$ , МПа	511
Мембранная компонента суммарных продольных напряжений $S'$ , МПа	421
Нормативная ударная вязкость на образцах Шарпи КСV, Дж/см <sup>2</sup>	29,4
Фактическая толщина стенки $t_{факт}$ , мм	15,8
Длина дефекта 1, мм	16
Высота дефекта 1, мм	1,2
Глубина залегания дефекта 1, мм	3
Длина дефекта 2, мм	6
Высота дефекта 2, мм	1,8
Глубина залегания дефекта 2, мм	3

					Оценка работоспособности кольцевых сварных соединений на магистральных газопроводах			
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата				
Разраб.		Галимов Д.И.			Оценка работоспособности кольцевых сварных соединений	Лит.	Лист	Листов
Руковод.		Зарубин А.Г.					41	84
Консульт.						ТПУ гр. 2Б6А		
Рук-ль ООП		Брусник О.В.						

## 4.1 Оценка работоспособности кольцевых сварных соединений вторым уровнем оценки на основе номограмм

Данные дефекты возможно оценить, используя номограммы, представленные в СТО Газпром 2-2.4-715-2013.

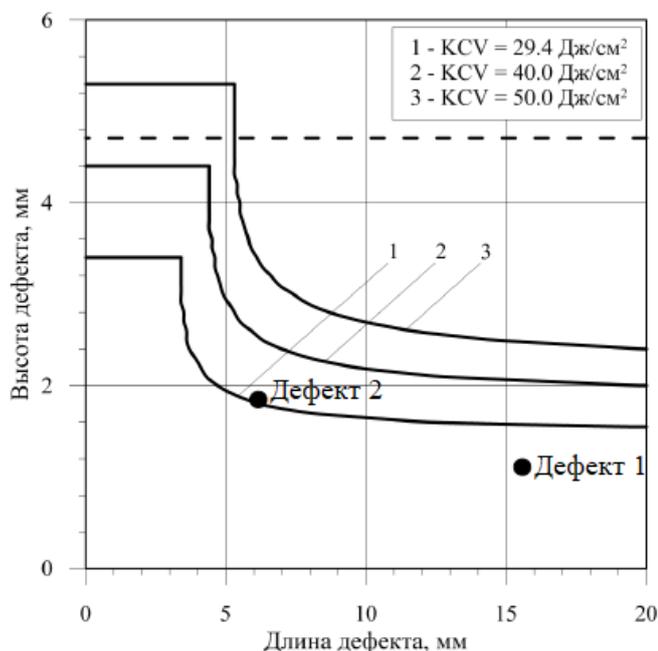


Рисунок 10 – Номограмма с нанесенными для оценки дефектами

По представленной номограмме можно сделать вывод, что Дефект 1 является допустимым так как его расположение на графике лежит ниже кривой нормативной ударной вязкости. Дефект 2 является недопустимым, в соответствии с номограммой, но может быть оценен расчетным методом.

## 4.2 Оценка работоспособности кольцевого сварного соединения вторым уровнем на основе расчетного метода

Для оценки работоспособности второго дефекта необходимо построить диаграмму целостность-разрушение модели ДЦР-2 (второго типа), так как у нас отсутствуют данные о наличии или отсутствии площадки текучести основного металла или металла кольцевого сварного соединения.

Критериальная функция  $F(L_r)$  определяется по формулам:

$$F(L_r) = (1 + 0,5L_r^2)^{-\frac{1}{2}} \cdot (0,3 + 0,7 \exp(-0,6L_r^6)), \text{ для } L_r < 1, \quad (2)$$

					Оценка работоспособности кольцевых сварных соединений	Лист
						42
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$F(L_r) = \left( \lambda + \frac{1}{2\lambda} \right)^{-\frac{1}{2}} \cdot L_r^{\frac{N-1}{2N}}, \text{ для } 1 \leq L_r < L_r^{max}, \quad (3)$$

где  $L_r$  – параметр, контролирующий вязкое разрушение.

Максимальное значение параметра  $L_r^{max}$  рассчитывается по формуле:

$$L_r^{max} = \frac{(\sigma_{02}^{mat} + \sigma_B^{mat})}{2\sigma_{02}^{mat}}, \quad (4)$$

где  $\sigma_{02}^{mat}$  – предел текучести металла, в котором находится дефект;

$\sigma_B^{mat}$  – предел прочности металла, в котором находится дефект.

Параметр  $N$  рассчитывается по формуле:

$$N = 0,3 \left( 1 - \frac{\sigma_{02}^{mat}}{\sigma_B^{mat}} \right). \quad (5)$$

Параметр  $\lambda$  рассчитывается по формуле:

$$\lambda = 1 + E \cdot \frac{\Delta\varepsilon}{\sigma_{02}^{mat}}, \quad (6)$$

где  $E$  – модуль Юнга (для стали  $E=200$  ГПа).

Оценочное значение  $\Delta\varepsilon$  определяют по формуле:

$$\Delta\varepsilon = 0,0375 \left( 1 - \frac{\sigma_{02}^{mat}}{1000} \right). \quad (7)$$

Максимальное значение параметра  $L_r^{max}$  равняется:

$$L_r^{max} = \frac{(461 + 588)}{2 \cdot 461} = 1,138.$$

Параметр  $N$  равен:

$$N = 0,3 \left( 1 - \frac{461}{588} \right) = 0,065.$$

Оценочное значение  $\Delta\varepsilon$  равно:

$$\Delta\varepsilon = 0,0375 \left( 1 - \frac{461}{1000} \right) = 0,02.$$

Параметр  $\lambda$  равен:

					Оценка работоспособности кольцевых сварных соединений	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		43

$$\lambda = 1 + 200000 \cdot \frac{0,02}{461} = 10,2.$$

Таким образом критериальная функция  $F(L_r)$  имеет вид:

$$F(L_r) = (1 + 0,5L_r^2)^{-\frac{1}{2}} \cdot (0,3 + 0,7 \exp(-0,6L_r^6)), \text{ для } L_r < 1,$$

$$F(L_r) = \left( 10,2 + \frac{1}{2 \cdot 10,2} \right)^{-\frac{1}{2}} \cdot L_r^{\frac{0,065-1}{2 \cdot 0,065}}, \text{ для } 1 \leq L_r < 1,138.$$

Критериальная функция  $F(L_r)$  представлена на рисунке 2.

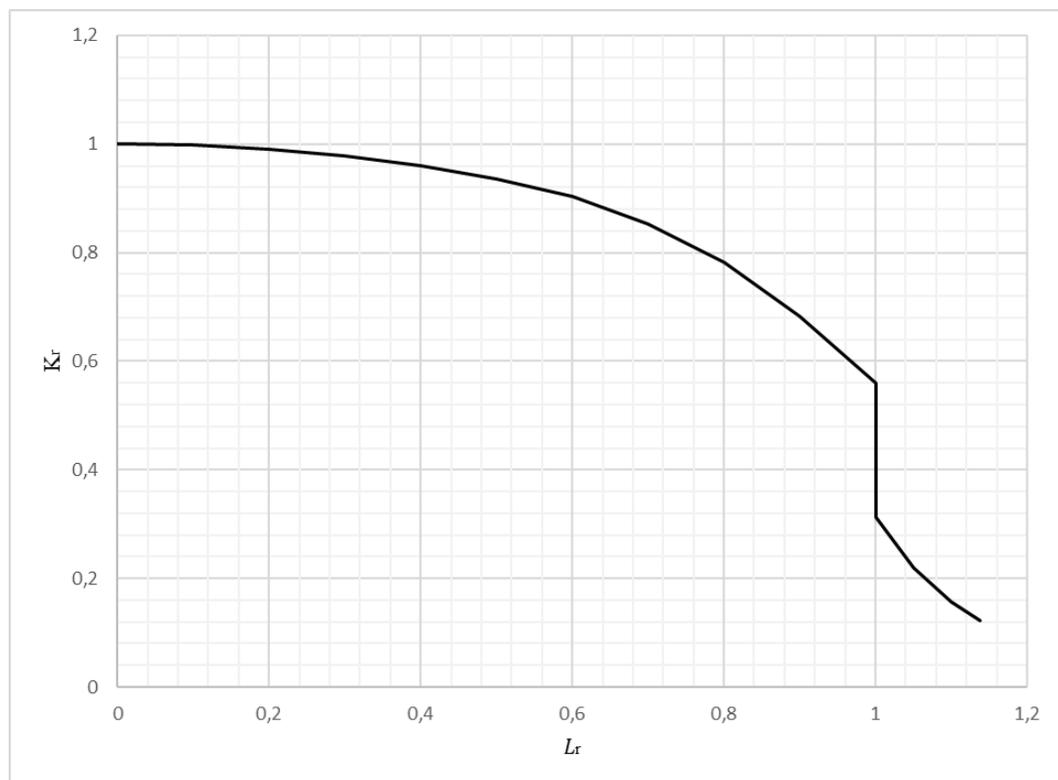


Рисунок 11 – Диаграмма целостность-разрушение второго типа. Параметр  $L_r$  контролирует вязкое разрушение, параметр  $K_r$  – разрушение по механизму развития трещины

Параметры  $L_r$  и  $K_r$  рассчитываются отдельно для каждого дефекта по следующим формулам:

$$K_r = \frac{K}{K_{mat}^*}, \quad (8)$$

					Оценка работоспособности кольцевых сварных соединений	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		44

$$L_r = \frac{\sigma_n}{\sigma_{02}^*}, \quad (9)$$

где  $K$  – расчетное значение коэффициента интенсивности напряжений;

$K_{mat}^*$  – расчетная характеристика трещиностойкости металла в зоне расположения оцениваемого дефекта, с учетом коэффициента запаса;

$\sigma_n$  – расчетное напряжение в нетто-сечении;

$\sigma_{02}^*$  – расчетное минимальное значение предела текучести металла, с учетом коэффициента запаса.

Расчетное значение коэффициента интенсивности напряжений:

$$K = Y \cdot S \cdot \sqrt{a}, \quad (10)$$

где  $Y$  – коэффициент формы;

$S$  – продольное напряжение ( $S = 511$  МПа);

$a$  – половина высоты дефекта.

Рассчитаем для дефекта 2 коэффициент интенсивности напряжений:

$$K = 1,64 \cdot 511 \cdot \sqrt{0,0009} = 25,14.$$

Коэффициент формы для внутренней эллиптической трещины вычисляется по формуле:

$$Y = \frac{1,79 - 0,66a/c}{\left(1 - \left(\frac{a}{h+a}\right)^{1,8} \left(1 - \frac{0,4a}{c} - \left(0,5 - \frac{(h+a)}{t}\right)^{0,4}\right)\right)^{0,54}}, \quad (11)$$

где  $c$  – половина длины дефекта;

$h$  – глубина дефекта;

$t$  – толщина стенки трубопровода.

Коэффициент формы для внутренней эллиптической трещины равен:

$$Y = \frac{1,79 - 0,66 \cdot 0,9/3}{\left(1 - \left(\frac{0,9}{3+0,9}\right)^{1,8} \left(1 - \frac{0,4 \cdot 0,9}{3} - \left(0,5 - \frac{(3+0,9)}{15,8}\right)^{0,4}\right)\right)^{0,54}} = 1,64.$$

					Оценка работоспособности кольцевых сварных соединений	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		45

Расчетная характеристика трещиностойкости металла в зоне расположения оцениваемого дефекта, с учетом коэффициента запаса рассчитывается по формуле:

$$K_{mat}^* = \frac{(12\sqrt{KCV \cdot 0,8} - 20) \cdot \left(\frac{0,025}{t}\right)^{0,25} + 20}{n_F}, \quad (12)$$

где  $n_F$  – коэффициент запаса по трещиностойкости ( $n_F = 1,5$ ).

Расчетная характеристика трещиностойкости металла в зоне расположения оцениваемого дефекта, с учетом коэффициента запаса равна:

$$K_{mat}^* = \frac{(12\sqrt{29,4 \cdot 0,8} - 20) \cdot \left(\frac{0,025}{0,0158}\right)^{0,25} + 20}{1,5} = 41,9.$$

Расчетное напряжение в нетто-сечении рассчитывается по формуле:

$$\sigma_n = \frac{S' \left( \pi \left( 1 - \frac{2a}{t} \right) + 2 \left( \frac{2a}{t} \right) \sin \left( \frac{c}{r} \right) \right)}{\left( 1 - \frac{2a}{t} \right) \left( \pi - \left( \frac{c}{r} \right) \left( \frac{2a}{t} \right) \right)}, \quad (13)$$

$$r = \frac{D_H - 2t}{2}, \quad (14)$$

где  $S'$  – значение мембранной компоненты суммарных продольных напряжений ( $S' = 421$  МПа).

Радиус равен:

$$r = \frac{1420 - 2 \cdot 15,8}{2} = 694,2 \text{ мм.}$$

Расчетное напряжение в нетто-сечении равно:

$$\sigma_n = \frac{421 \left( 3,14 \left( 1 - \frac{2 \cdot 0,9}{15,8} \right) + 2 \left( \frac{2 \cdot 0,9}{15,8} \right) \sin \left( \frac{3}{694,2} \right) \right)}{\left( 1 - \frac{2 \cdot 0,9}{15,8} \right) \left( 3,14 - \left( \frac{3}{694,2} \right) \left( \frac{2 \cdot 0,9}{15,8} \right) \right)} = 421,21.$$

					Оценка работоспособности кольцевых сварных соединений	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		46

Расчетное минимальное значение предела текучести металла, с учетом коэффициента запаса рассчитывается по формуле:

$$\sigma_{02}^* = \frac{\sigma_{02}^{mat}}{n_{\sigma}}, \quad (15)$$

где  $n_{\sigma}$  – коэффициент запаса по пределу текучести ( $n_{\sigma} = 1,05$ ).

Расчетное минимальное значение предела текучести металла равняется:

$$\sigma_{02}^* = \frac{461}{1,05} = 439,05 \text{ МПа.}$$

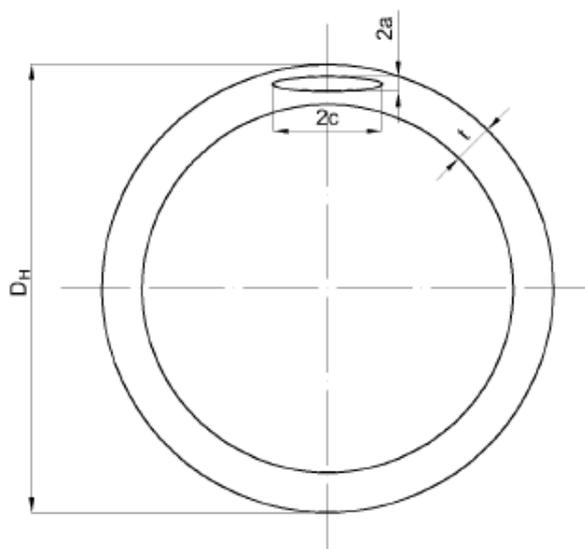


Рисунок 12 – Внутренняя кольцевая трещина

Рассчитаем значения параметров  $L_r$  и  $K_r$ :

$$L_r = \frac{\sigma_n}{\sigma_{02}^*} = \frac{421,21}{439,05} = 0,96$$

$$K_r = \frac{K}{K_{mat}^*} = \frac{25,14}{41,9} = 0,6$$

Полученные значения параметров определим на графике целостность-разрушение второго типа:

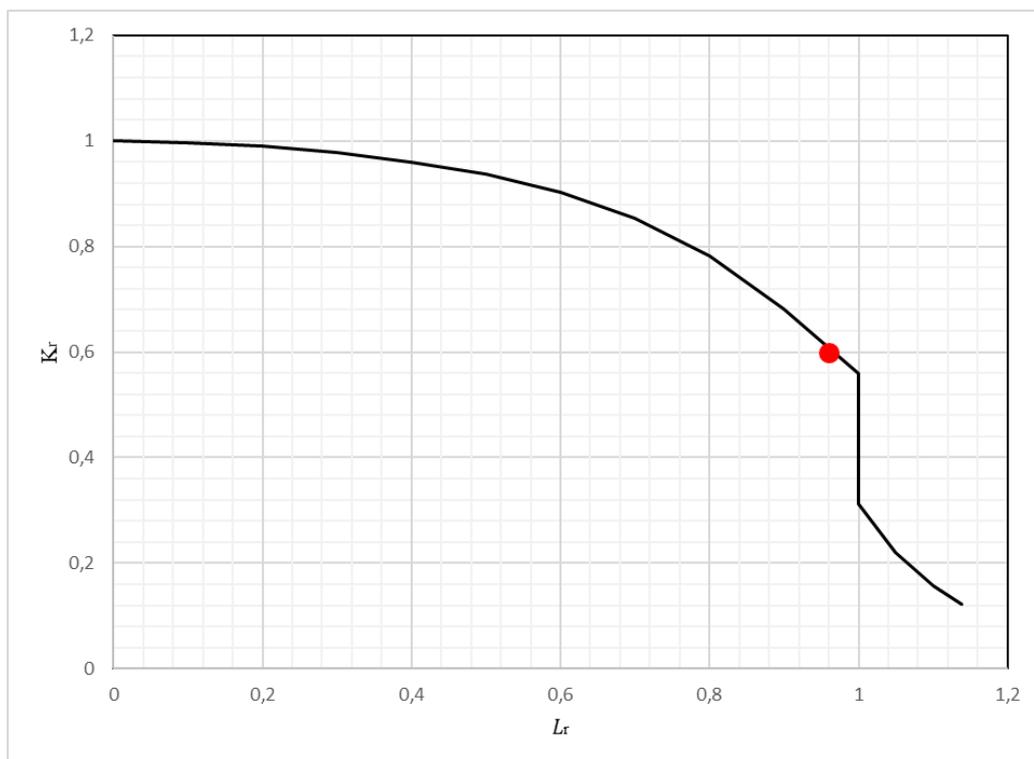


Рисунок 13 – Рассматриваемый дефект на диаграмме целостность-разрушение

Так как найденная точка находится ниже кривой (рис. 13), дефект является допустимым в соответствии с СТО Газпром 2-2.4-715-2013. Значения параметров  $L_r$  и  $K_r$  составили:  $L_r = 0,96$  и  $K_r = 0,6$ .

## 5. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

### 5.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

#### 5.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Для анализа потребителей результатов исследования необходимо рассмотреть целевой рынок и провести его сегментирование. Целевой рынок – сегменты рынка, на котором будет продаваться в будущем разработка. В свою очередь, сегмент рынка – это особым образом выделенная часть рынка, группы потребителей, обладающих определенными общими признаками. Сегментирование – это разделение покупателей на однородные группы, для каждой из которых может потребоваться определенный товар (услуга).

Для данного проекта целевой рынок – газодобывающие и газотранспортирующие компании.

Целесообразно выбрать два наиболее значимых критерия: размер компании и отрасль. По этим критериям будет производиться сегментирование рынка. Размер предприятия важен, так как в крупных компаниях чаще внедряют новые технологии, так как в дальнейшем они могут окупить риски внедрения. Данный исследовательский проект применяется исключительно в газодобывающих и газотранспортных предприятиях, на которых эксплуатируется магистральный газопровод. Географическое положение играет малую роль в применении исследовательского проекта.

					Оценка работоспособности кольцевых сварных соединений на магистральных газопроводах			
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата				
Разраб.		Галимов Д.И.			Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Лит.	Лист	Листов
Руковод.		Зарубин А.Г.					49	84
Консульт.						ТПУ гр. 2Б6А		
Рук-ль ООП		Брусник О.В.						

Данная исследовательская работа может быть использована для любых предприятий, которые эксплуатируют газопровод.

На рисунке 14 представлена карта сегментирования рынка предоставляемых услуг для крупных и средних газодобывающих и газотранспортирующих предприятий.

		Отрасль	
		Газодобывающие предприятия	Газотранспортирующие предприятия
Размер	Крупные		
	Средние		

	Компания 1		Компания 2		Компания 3
--	------------	--	------------	--	------------

Рисунок 14 – Карта сегментирования рынка предоставляемых услуг

По рисунку 14 можно сделать вывод, что основными наиболее перспективными сегментами рынка в отраслях газодобычи и газотранспорта являются предприятия всех размеров.

### 5.1.2 Анализ конкурентных технических решений

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. С этой целью может быть использована вся имеющаяся информация о конкурентных разработках:

- технические характеристики разработки;
- конкурентоспособность разработки;

- уровень завершенности научного исследования (наличие макета, прототипа и т.п.);
- бюджет разработки;
- уровень проникновения на рынок;
- финансовое положение конкурентов, тенденции его изменения и т.д.

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, представленной в таблице 1.

Таблица 5 – Оценочная карта для сравнения конкурентных решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы		Конкурентоспособность	
		Б <sub>ф</sub>	Б <sub>к</sub>	К <sub>ф</sub>	К <sub>к</sub>
1	2	3	4	5	6
<b>Технические критерии оценки ресурсоэффективности</b>					
1.Повышение производительности труда пользователя	0,05	5	3	0,25	0,15
2. Надежность	0,2	5	3	1	0,6
3. Безопасность	0,15	5	4	0,75	0,6
4. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,1	5	4	0,5	0,4
5. Энергоэкономичность	0,2	5	2	1	0,4
<b>Экономические критерии оценки эффективности</b>					
1. Конкурентоспособность продукта	0,1	4	3	0,4	0,3

Продолжение таблицы 5

2. Финансирование разработки	0,1	5	2	0,5	0,2
3. Наличие сертификации разработки	0,1	5	2	0,5	0,2
Итого	1	39	23	5	2,85

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum V_i \cdot B_i, \quad (16)$$

где K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

$V_i$  – вес показателя (в долях единицы);

$B_i$  – балл  $i$ -го показателя.

Конкурентоспособность разработки составляет 5, в то время как конкурентоспособность альтернативного метода составляет 2,85, в результате чего, делается вывод, что данная разработка является конкурентноспособной имеет высокое преимущество перед альтернативным методом.

Преимуществом рассмотренного метода является его экономичность, прогрессивность и окупаемость, по сравнению с альтернативным методом, основанным на старых нормативных документах.

### 5.1.3 Технология QuaD

Технология QuaD (QUalityADvisor) представляет собой гибкий инструмент измерения характеристик, описывающих качество новой разработки и ее перспективность на рынке и позволяющие принимать решение целесообразности вложения денежных средств в научно – исследовательский проект.

Таблица 6 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы	Максимальный балл	Относительное значение (3/4)	Средневзвешенное значение (5x2)
1	2	3	4	5	6
Показатели оценки качества разработки					
1. Энергоэффективность	0,1	96	100	0,96	0,096
2. Надежность	0,2	97	100	0,97	0,194
3. Безопасность	0,1	98	100	0,98	0,098
4. Простота эксплуатации	0,1	92	100	0,92	0,092
Показатели оценки коммерческого потенциала разработки					
5. Конкурентоспособность продукта	0,15	98	100	0,98	0,147
6. Финансовая эффективность научной разработки	0,25	98	100	0,98	0,245
7. Наличие сертификации разработки	0,1	95	100	0,95	0,095
Итого	1	674	700	6,74	0,967

Оценка качества перспективности по технологии QuaD определяется по формуле:

$$P_{cp} = \sum B_i \cdot B_i, \quad (17)$$

где  $P_{cp}$  – средневзвешенное значение показателя качества и перспективности научной разработки;

$B_i$  – вес показателя (в долях единицы);

$B_i$  – средневзвешенное значение  $i$ -го показателя.

					Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Лист 53
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Значение показателя  $P_{cp}$  составило 96,7, что говорит о высокой перспективности разработки, о высоком качестве методики оценки работоспособности кольцевых сварных соединений.

### 5.1.4 SWOT-анализ

SWOT-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта. Он проводится в несколько этапов.

Первый этап заключается в описании сильных и слабых сторон проекта, в выявлении возможностей и угроз.

Второй этап состоит в выявлении соответствия сильных и слабых сторон научно-исследовательского проекта внешним условиям окружающей среды.

В рамках третьего этапа должна быть составлена итоговая матрица SWOT-анализа, которая приводится в бакалаврской работе.

Таблица 7 – Матрица SWOT

	<p><b>Сильные стороны проекта:</b></p> <p>С1. Методика позволяет экономить средства</p> <p>С2. Многоуровневый подход к оценке</p> <p>С3. Методика позволяет оценить работоспособность соединений</p> <p>С4. Квалифицированный персонал</p>	<p><b>Слабые стороны проекта:</b></p> <p>Сл1. Необходимость обширного внедрения методики.</p> <p>Сл2. Применение методики нуждается в широком спектре исходных данных.</p> <p>Сл3. Затраты времени на проведение оценки.</p>
<p><b>Возможности:</b></p> <p>В1. Внедрение в структуры газового транспорта</p> <p>В2. Появление спроса на продукт</p> <p>В3. Уменьшение значимости конкурентной продукции</p>	<p>Проект позволяет экономить средства на ненужную отбраковку соединений, что обеспечивает спрос на продукт.</p> <p>Наличие комплексного подхода к оценке работоспособности сварных соединений обеспечивает ей внедрение в структуры газового транспорта.</p>	<p>Внедрение методики может занять продолжительное время. Необходимость в большом количестве исходных данных замедляет применение методики, что может уменьшить спрос.</p>

Продолжение таблицы 7

<b>Угрозы:</b> У1. Изменение требований и норм в области качества сварных соединений У2. Недостаточная распространенность современных приборов неразрушающего контроля	При изменении норм в области качества сварных соединений применение методики окажется невозможным без изменения положений методики.	Из-за необходимости в широком спектре исходных данных, необеспеченность компаний газовой отрасли современным оборудованием может привести к невозможности применения методики.
--	---	--

На втором этапе строится интерактивная матрица проекта, представленная в таблице 8. Ее использование помогает разобраться с различными комбинациями взаимосвязей областей матрицы SWOT. Каждый фактор помечается либо знаком «+» – сильное соответствие сильных сторон возможностям, либо знаком «-» – слабое соответствие; «0» – если есть сомнения в том, что поставить «+» или «-».

Таблица 8 – Интерактивная матрица проекта

Сильные стороны проекта					
Возможности проекта		C1	C2	C3	C4
	B1	+	+	+	+
	B2	+	+	+	0
	B3	+	-	+	-
Сильные стороны проекта					
Угрозы проекта		C1	C2	C3	C4
	У1	-	0	-	0
	У2	-	-	-	-
Слабые стороны проекта					
Возможности проекта		Сл1	Сл2	Сл3	
	B1	+	-	0	
	B2	+	-	0	
	B3	+	-	0	
Слабые стороны проекта					
Угрозы проекта		Сл1	Сл2	Сл3	
	У1	0	0	0	
	У2	-	+	0	

В таблице 9 представлена итоговая SWOT-матрица.

Таблица 9 – Итоговая матрица SWOT

	<p><b>Сильные стороны проекта:</b></p> <p>С1. Методика позволяет экономить средства</p> <p>С2. Многоуровневый подход к оценке</p> <p>С3. Методика позволяет оценить работоспособность соединений</p> <p>С4. Квалифицированный персонал</p>	<p><b>Слабые стороны проекта:</b></p> <p>Сл1. Необходимость обширного внедрения методики.</p> <p>Сл2. Применение методики нуждается в широком спектре исходных данных.</p> <p>Сл3. Затраты времени на проведение оценки.</p>
<p><b>Возможности:</b></p> <p>В1. Внедрение в структуры газового транспорта</p> <p>В2. Появление спроса на продукт</p> <p>В3. Уменьшение значимости конкурентной продукции</p>	<p>Проект позволяет сэкономить средства на ненужную отбраковку соединений, что обеспечивает спрос на продукт (В2, С1).</p> <p>Наличие комплексного подхода к оценке работоспособности сварных соединений обеспечивает ей внедрение в структуры газового транспорта (В1, С2, С3).</p>	<p>Внедрение методики может занять продолжительное время. (В1, Сл1)</p> <p>Необходимость в большом количестве исходных данных замедляет применение методики, что может уменьшить спрос (В2, Сл2).</p>
<p><b>Угрозы:</b></p> <p>У1. Изменение требований и норм в области качества сварных соединений</p> <p>У2. Недостаточная распространенность современных приборов неразрушающего контроля</p>	<p>При изменении норм в области качества сварных соединений применение методики окажется невозможным без изменения положений методики (У1, С2).</p>	<p>Из-за необходимости в широком спектре исходных данных, необеспеченность компаний газовой отрасли современным оборудованием может привести к невозможности применения методики (У2, Сл2).</p>

По результатам SWOT-анализа можно сделать вывод, что у разрабатываемого проекта много сильных сторон, которые уменьшают значение слабых сторон. Сделан вывод, что технологии конкурентоспособны, несмотря на угрозы.

## 5.2 Планирование научно-исследовательских работ

### 5.2.1 Структура работ в рамках научного исследования

Для выполнения научных исследований формируется рабочая группа, в состав которой входят научный руководитель и студент. Составим перечень этапов и работ, распределение исполнителей по видам работ в таблице 6.

Таблица 10 – Перечень этапов, работ и исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель
Выбор направления исследований	2	Подбор и изучение материалов по теме	Бакалавр
	3	Выбор направления исследований	Руководитель, Бакалавр
	4	Календарное планирование работ по теме	Руководитель, Бакалавр
Теоретические и экспериментальные исследования	5	Анализ существующей методики оценки работоспособности	Бакалавр
	6	Проведение расчетов	Бакалавр
	7	Оценка адекватности расчетов реальному процессу	Бакалавр
	8	Оценка влияния технологических параметров на работоспособность продукта	Бакалавр
Обобщение и оценка результатов	9	Оценка эффективности полученных результатов	Руководитель, Бакалавр
	10	Определение целесообразности проведения процесса	Руководитель, Бакалавр
	11	Оформление пояснительной записки	Бакалавр
	12	Разработка презентации	Бакалавр

## 5.2.2 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. Для определения, ожидаемого (среднего) значения трудоемкости то же используется следующая формула:

$$t_{ожі} = \frac{3t_{mini} + 2t_{maxi}}{5}, \quad (18)$$

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

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

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

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

$$T_{pi} = \frac{t_{ожі}}{Ч_i}, \quad (19)$$

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

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

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

В качестве примера рассчитаем продолжительность первой работы – разработка технического задания:

					Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		58

$$t_{ожі} = \frac{3t_{mini} + 2t_{maxi}}{5} = \frac{3 \cdot 2 + 2 \cdot 4}{5} = 2,8 \text{ чел. -дн};$$

$$T_{pi} = \frac{t_{ожі}}{Ч_i} = \frac{2,8}{1} = 2,8 \text{ дн.}$$

### 5.2.3 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:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{кал}, \quad (20)$$

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

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

$k_{кал}$  – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{кал} = \frac{T_{кал}}{T_{кал} - T_{вых} - T_{пр}} = \frac{366}{366 - 104 - 14} = 1,48, \quad (21)$$

где  $T_{кал}$  – количество календарных дней в 2020 году;

$T_{вых}$  – количество выходных дней в 2020 году;

$T_{пр}$  – количество праздничных дней в 2020 году.

Временные показатели и календарный план-график представлены в таблицах 11 и 12 соответственно.

					Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		59

Таблица 11 – временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоёмкость работ												Исполнители, количество			Длительность работ в рабочих днях $T_{pi}$			Длительность работ в календарных днях $T_{ki}$		
	$t_{min}$ , чел. - дни				$t_{max}$ , чел. - дни				$t_{ож}$ , чел. - дни												
	исп. 1	исп. 2	исп. 3	исп. 1	исп. 2	исп. 3	исп. 1	исп. 2	исп. 3	исп. 1	исп. 2	исп. 3	исп. 1	исп. 2	исп. 3	исп. 1	исп. 2	исп. 3			
Составление и утверждение технического задания	2	3	4	4	4	5	6	3	4	5	5	5	Руководитель	3	4	5	4	6	7		
Подбор и изучение материалов по теме	12	14	16	14	15	18	13	14	17	17	17	17	Бакалавр	13	14	17	19	21	25		
Выбор направления исследований	4	6	7	7	8	10	5	7	8	8	8	8	Руководитель, Бакалавр	3	3	4	4	5	6		
Календарное планирование работ по теме	5	6	7	8	9	10	6	7	8	8	8	8	Руководитель, Бакалавр	3	4	4	5	5	6		
Анализ существующей методики оценки работоспособности	10	11	13	11	13	15	10	12	14	14	14	14	Бакалавр	10	12	14	15	17	20		
Проведение расчетов	8	10	12	10	12	14	9	11	13	13	13	13	Бакалавр	9	11	13	13	16	19		
Оценка адекватности расчетов реальному процессу	5	6	7	6	7	8	5	6	7	7	7	7	Бакалавр	5	6	7	8	9	11		
Оценка влияния технологических параметров на работоспособность продукта	5	6	7	7	8	9	6	7	8	8	8	8	Бакалавр	6	7	8	9	10	12		
Оценка эффективности полученных результатов	5	6	7	6	7	8	5	6	7	7	7	7	Руководитель, Бакалавр	3	3	4	4	5	5		
Определение целесообразности проведения процесса	5	6	9	7	10	12	6	8	10	10	10	10	Руководитель, Бакалавр	3	4	5	4	6	8		
Оформление пояснительной записки	7	8	9	9	10	11	8	9	10	10	10	10	Бакалавр	8	9	10	12	13	15		
Разработка презентации	2	3	4	4	5	6	3	4	5	5	5	5	Бакалавр	3	4	5	4	6	7		
Итого, дн.																					
														100	119	141					



## 5.3 Бюджет научно-технического исследования

### 5.3.1 Расчет материальных затрат НИИ

Расчёт стоимости материальных затрат производится по действующим прейскурантам или договорным ценам. В стоимость материальных затрат включаем транспортно-заготовительные расходы, составляющие 5 % от цены (таблица 13).

Таблица 13 – Сырье, материалы, комплектующие изделия и покупные полуфабрикаты

Наименование	Ед. измерения	Количество	Цена за единицу, руб.	Сумма, руб.
Бумага	пачка	1	200	200
Ручка	шт.	2	25	50
Карандаш	шт.	2	15	30
Линейка	шт.	2	30	60
Папка	шт.	1	70	70
Папка-вкладыш	шт.	10	4	40
Персональный компьютер	шт.	2	20000	40000
Электроэнергия	КВт	250	3,5	875
Интернет	Гб	100	12	1200
Транспортно-заготовительные расходы (5%)				2126
Итого				44651

### 5.3.2 Расчет затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ

Данный раздел включает все затраты, связанные с приобретением специального оборудования (приборов, контрольно-измерительной аппаратуры, стендов, устройств и механизмов), необходимого для проведения

работ по конкретной теме. Необходимое оборудование представлено в таблице 14.

Таблица 14 – Затраты на оборудование

№	Наименование	Количество	Цена, тыс. руб.	Общая стоимость, тыс. руб.
1	Ультразвуковой дефектоскоп А1214	1	310	310
Итого				310

### 5.3.3 Основная заработная плата исполнителей темы

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

Таблица 15 – Основная заработная плата

Исполнители	$Z_б$ , тыс. руб.	$k_{пр}$	$k_д$	$k_р$	$Z_м$ , тыс. руб.	$Z_{дн}$ , тыс. руб.	$T_р$ , раб. дн.	$Z_{осн}$ , тыс. руб.
Руководитель	34682	1,3	-	1,3	58612,6	1734,1	32	55491,2
Бакалавр	-	-	-	1,3	-	-	141	-

Где  $Z_б$  – базовый оклад;

$k_{пр}$  – премиальный коэффициент;

$k_д$  – коэффициент доплат и надбавок;

$k_р$  – районный коэффициент (для г. Томск  $k_р = 1,3$ );

$Z_м$  – месячный должностной оклад работника;

$Z_{дн}$  – среднедневная заработная плата работника;

$T_р$  – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником;

$Z_{\text{осн}}$  – основная заработная плата.

### 5.3.4 Дополнительная заработная плата исполнителей темы

Дополнительная заработная плата рассчитывается исходя из 10 - 15% от основной заработной платы, работников, непосредственно участвующих в выполнении темы:

$$Z_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot Z_{\text{осн}}, \quad (22)$$

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

$k_{\text{доп}}$  – коэффициент дополнительной заработной платы.

В таблице 16 указаны данные о дополнительной заработной плате.

Таблица 16 – Дополнительная заработная плата

Заработная плата	Руководитель	Бакалавр
Основная зарплата	55491,2	-
Дополнительная зарплата	6658,9	-
Итого	62150,1	0

### 5.3.5 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$Z_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}), \quad (23)$$

где  $k_{\text{внеб}}$  – коэффициент отчислений во внебюджетные фонды ( $k_{\text{внеб}} = 0,271$ ).

Таблица 17 – Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата, тыс. руб.	Дополнительная заработная плата, тыс. руб.
Руководитель проекта	55491,2	6658,9
Бакалавр	-	-
Коэффициент отчисления во внебюджетные фонды	0,271	
Отчисления, руб.	15038,1	1804,56
Итого	16842,66	

### 5.3.6 Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи, электроэнергии, почтовые и телеграфные расходы, размножение материалов и т.д. Их величина определяется по следующей формуле:

$$Z_{\text{накл}} = (\text{сумма статей } 1 \div 7) \cdot k_{\text{нр}}, \quad (24)$$

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

Принимаем величину накладных расходов в размере 16 %.

Рассчитаем накладные расходы:

$$Z_{\text{накл}} = (473 + 48000 + 62150,1 + 16842,66) \cdot 0,16 = 20394,5 \text{ руб.}$$

### 5.3.7 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

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

Таблица 18 – Расчет бюджета затрат НТИ

Наименование статьи	Сумма, руб.		
	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3
1. Материальные затраты НТИ	44651	48500	55535
2. Специальное оборудование для научных работ	310000	350000	300000
3. Основная заработная плата	55491,2	55491,2	55491,2
4. Дополнительная заработная плата	6658,9	6658,9	6658,9
5. Отчисления на социальные нужды	18642,66	18642,66	18642,66
6. Накладные расходы	20394,5	20394,5	20394,5
7. Бюджет затрат	455838	499687	456722

### 5.4 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Его нахождение связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности. Интегральный

показатель финансовой эффективности научного исследования получают в ходе оценки бюджета затрат трех (или более) вариантов исполнения научного исследования (см. табл. 16). Для этого наибольший интегральный показатель реализации технической задачи принимается за базу расчета (как знаменатель), с которым соотносятся финансовые значения по всем вариантам исполнения. Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}}, \quad (25)$$

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

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

$\Phi_{\text{max}}$  – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта.

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

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i, \quad (26)$$

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

$a_i$  – весовой коэффициент  $i$ -го варианта исполнения разработки;

$b_i$  – бальная оценка  $i$ -го варианта исполнения разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания.

					Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		67

Таблица 19 – сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Критерии	Весовой коэффициент параметра	Исп.1	Исп. 2	Исп. 3
1.Повышение производительности труда пользователя	0,15	5	4	4
2. Надежность	0,25	4	4	3
3. Безопасность	0,25	5	4	4
4. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,15	5	5	4
5. Энергоэкономичность	0,2	4	4	4
Итого	1	4,55	4,15	3,75

$$I_{p-исп1} = 5 \cdot 0,15 + 4 \cdot 0,25 + 5 \cdot 0,25 + 5 \cdot 0,15 + 4 \cdot 0,2 = 4,55;$$

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

$$I_{p-исп1} = 4 \cdot 0,15 + 3 \cdot 0,25 + 4 \cdot 0,25 + 4 \cdot 0,15 + 4 \cdot 0,2 = 3,75.$$

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки  $I_{исп.1}$  определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{исп.i} = \frac{I_{p-испi}}{I_{финi}} \quad (27)$$

Сравнительная эффективность  $\mathcal{E}_{ср}$  вычисляется по формуле:

$$\mathcal{E}_{\text{ср}} = \frac{I_{\text{исп1}}}{I_{\text{исп2}}}. \quad (28)$$

Таблица 20 – Сравнительная эффективность разработки

№	Показатели	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,912	1	0,914
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,55	4,15	3,75
3	Интегральный показатель эффективности	4,99	4,15	4,1
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1	0,83	0,82

Вывод: сравнение интегральных показателей эффективности показало, что наиболее эффективным вариантом исполнения проекта бакалаврской работы является исполнение 1.

## 6. Социальная ответственность

Оценка работоспособности кольцевых сварных соединений производится для отбраковки дефектных сварных соединений на магистральных газопроводах. Оценка проводится на основании результатов внутритрубной дефектоскопии и результатов неразрушающего контроля.

Неразрушающий контроль позволяет выявить местоположение дефекта, вычислить его размеры и тип. Неразрушающий контроль включает себя визуальный и измерительный контроль 100 % дефектных швов, ультразвуковой контроль 100 % дефектных швов и выборочный радиографический контроль 20 % дефектных швов.

Объектом исследования являются дефекты кольцевых сварных соединений магистрального газопровода диаметром 1420 мм.

### 6.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

В организациях, осуществляющих производственную деятельность, должны быть созданы службы охраны труда или вводиться должность специалиста по охране труда в порядке, предусмотренном Трудовым кодексом Российской Федерации [18].

#### 6.1.1 Специальные (характерные для рабочей зоны исследователя) правовые нормы трудового законодательства

Проведение неразрушающего контроля сварных швов магистрального газопровода является газоопасной работой.

К газоопасным, огневым и ремонтным работам допускаются лица не моложе 18 лет, не имеющие медицинских противопоказаний к указанным видам работ, прошедшие обучение приемам и методам проведения работ.

					Оценка работоспособности кольцевых сварных соединений на магистральных газопроводах			
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата				
Разраб.		Галимов Д.И.			Социальная ответственность	Лит.	Лист	Листов
Руковод.		Зарубин А.Г.					70	84
Консульт.						ТПУ гр. 2Б6А		
Рук-ль ООП		Брусник О.В.						

Перед началом проведения газоопасных работ проводится опрос каждого исполнителя о самочувствии [19].

Работодатели обязаны обеспечить обязательное социальное страхование работников от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний.

Производство работ в местах, где имеется или может возникнуть повышенная производственная опасность, должно осуществляться по наряду-допуску.

Персонал производственных объектов в зависимости от условий работы и принятой технологии производства должен быть обеспечен соответствующими средствами коллективной защиты.

На рабочих местах, а также во всех местах опасного производственного объекта, где возможно воздействие на человека вредных и (или) опасных производственных факторов, должны быть предупредительные знаки и надписи.

К газоопасным, огневым и ремонтным работам допускаются лица не моложе 18 лет, не имеющие медицинских противопоказаний к указанным видам работ, прошедшие обучение приемам и методам проведения работ.

Каждый работник имеет право на:

- рабочее место, соответствующее требованиям охраны труда;
- получение достоверной информации от работодателя, соответствующих государственных органов и общественных организаций об условиях и охране труда на рабочем месте, о существующем риске повреждения здоровья, а также о мерах по защите от воздействия вредных и (или) опасных производственных факторов [20].

### **6.1.2 Эргономические требования к правильному расположению и компоновке рабочей зоны**

При проведении контроля сварных швов приборами неразрушающего контроля конструкция рабочего места, его размеры и взаимное расположение

					Социальная ответственность	Лист
						71
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

элементов (органов управления, средств отображения информации, вспомогательного оборудования и др.) должны обеспечивать безопасность при использовании производственного оборудования по назначению, техническом обслуживании, ремонте и уборке, а также соответствовать эргономическим требованиям.

Каждый производственный объект, где обслуживающий персонал находится постоянно, необходимо оборудовать круглосуточной телефонной (радиотелефонной) связью с диспетчерским пунктом или руководством участка, цеха, организации.

Размеры рабочего места и размещение его элементов должны обеспечивать выполнение рабочих операций в удобных рабочих позах и не затруднять движений работающего [21].

## **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.

Работа по оценке работоспособности кольцевых сварных соединений является работой повышенной опасности, так как при проведении дефектоскопии неразрушающими методами контроля потенциально возможно возникновение вредных и опасных факторов, указанных в таблице 1.

					<i>Социальная ответственность</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		72

Таблица 21 – Возможные опасные и вредные факторы

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этап работы	Нормативные документы
	Проведение контроля сварных швов магистрального газопровода неразрушающими методами контроля	
1.Загазованность воздушной среды	+	ГОСТ 12.1.005-88 [22] ГН 2.2.5.3532-18 [23]
2.Наличие ионизирующих излучений	+	СанПиН 2.6.1.2523-09 [24] НП 034-15 [25]
3.Повышенный уровень ультразвуковых колебаний	+	ГОСТ 12.1.001-89 [26]
4.Взрывоопасность и пожароопасность	+	ГОСТ 12.1.010-76 [27] ГОСТ 12.1.004-91 [28]
5.Поражение электрическим током	+	ГОСТ 12.1.019-2017 [29]

### 6.2.1 Анализ вредных производственных факторов и мероприятия по их устранению

#### Загазованность воздушной среды

При работе в траншее с газопроводом есть вероятность возникновения загазованности рабочей среды. Проведение контроля сварных швов магистрального газопровода неразрушающими методами контроля является газоопасной работой, так как проходит в траншее, в которой не исключена возможность выделения в рабочую зону взрывопожароопасных или вредных паров, газов и других веществ, способных вызвать взрыв, загорание, оказать вредное воздействие на организм человека, а конкретно природного газа, который в основном состоит из метана.

Наличие в смеси воздуха более 20 % газа может привести к удушью, а при наличии его в закрытом объеме от 5 % до 15 % может вызвать взрыв газозудушной смеси.

Содержание вредных веществ в воздухе рабочей зоны не должно превышать предельно допустимых концентраций (ПДК).

По санитарным нормам метан относится к 4 классу опасности (малоопасные вредные вещества), предельно допустимая концентрация (ПДК) в воздухе рабочей зоны – 300 мг/м<sup>3</sup>.

Газоопасные работы следует выполнять бригадой исполнителей в составе не менее двух человек. Члены бригады должны быть обеспечены соответствующими средствами индивидуальной защиты органов дыхания и кожных покровов, спецодеждой, спецобувью, инструментом, приспособлениями и вспомогательными материалами.

### **Наличие ионизирующих излучений**

При работе с приборами радиографического контроля возникает опасность воздействия ионизирующего рентгеновского и гамма-излучения на человека.

Гамма-излучение негативно влияет на здоровье человека. Длительное воздействие гамма-излучения или высокие дозы гамма-излучения могут вызвать лучевую болезнь. Гамма-излучение может так же вызвать онкологические заболевания.

Эффективная доза облучения составляет 20 мЗв в год в среднем за любые последовательные 5 лет, но не более 50 мЗв в год.

При радиографическом контроле следует использовать источники ионизирующих излучений, предусмотренные ГОСТ 20426 [30]. Энергия источников гамма-излучения, анодное напряжение на рентгеновской трубке выбирают в зависимости от толщины металла просвечиваемых изделий и типа применяемой рентгеноплёнки таким образом, чтобы были обеспечены требуемая чувствительность контроля, производительность работ и радиационная безопасность всего обслуживающего персонала.

					<i>Социальная ответственность</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		74

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

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 [31].

### **Повышенный уровень ультразвуковых колебаний**

При работе с ультразвуковыми приборами неразрушающего контроля возможно воздействие повышенного уровня ультразвука на человека.

В зависимости от интенсивности и длительности воздействия ультразвуки оказывают стимулирующее, активирующее влияние либо угнетают, тормозят и подавляют биологические процессы, физиологические реакции организма.

Нормативные значения ультразвука для работающих указаны в СанПиН 2.2.4/2.1.8.582-96 [32].

Ультразвуковое оборудование должно соответствовать требованиям ГОСТ 12.2.051 [33]. 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 две пары перчаток - резиновые (наружные) и хлопчатобумажные (внутренние) или только хлопчатобумажные [34].

					<i>Социальная ответственность</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		75

## **6.2.2 Анализ опасных производственных факторов и мероприятия по их устранению**

### **Взрывоопасность и пожароопасность**

Работа дефектоскописта в траншее с газопроводом является газоопасной работой. При утечке газа и повышении концентрации метана в воздухе возможно образование взрывоопасной газовой смеси.

Нижний концентрационный предел взрываемости метана составляет 4,4 % от объемной доли в смеси с воздухом. Верхний концентрационный предел взрываемости составляет 17 %.

Работы, связанные с возможным выделением взрывоопасных продуктов, должны проводиться с применением инструмента, не дающего искр в спецодежде, не накапливающей статическое электричество, обуви, не имеющей металлических вставок. Для освещения применяются светильники не выше 12 В выполненные во взрывоопасном исполнении.

### **Поражение электрическим током**

Дефектоскопы и приборы неразрушающего контроля питаются за счет электрического тока. Поражение человека электрическим током может пагубно влиять на состояние человека или привести к летальному исходу.

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

Электроустановки и их части должны соответствовать требованиям электробезопасности таким образом, чтобы работающие не подвергались опасным и вредным воздействиям электрического тока, электрической дуги и электрических и магнитных полей. Рабочий использует средства индивидуальной защиты.

## **6.3 Экологическая безопасность**

При выполнении всех видов работ на магистральном газопроводе необходимо соблюдать требования защиты окружающей среды, которые установлены законодательством Российской Федерации.

					<i>Социальная ответственность</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		76

### 6.3.1 Воздействие на атмосферу

В магистральном газопроводе транспортируется природный газ на 98 % состоящий из метана. Вследствие утечек или технологических сбросов метан попадает в атмосферу.

Метан является основным виновником «парникового эффекта», поскольку его присутствие способствует удержанию тепла в атмосфере и оказывает влияние на климат Земли. Метан стоит на втором месте после двуокиси углерода в ряду парниковых газов, выделяемых в результате деятельности человека. Метан в 23 раза эффективнее удерживает тепло в атмосфере Земли, чем углекислый газ.

Согласно постановления правительства о ставках платы за негативное воздействие на окружающую среду и дополнительных коэффициентах на 2018 год плата за выброс тонны метана составляет 108 рублей [35].

Многие из имеющихся в настоящее время возможностей снижения выбросов метана включают его регенерацию и использование в качестве топлива для производства электроэнергии, применение на местах и его поставки на продажу.

### 6.3.2 Воздействие на литосферу и гидросферу

При проведении работ по неразрушающему контролю сварных соединений необходимо произвести земляные работы с целью освобождения поверхности газопровода. При проведении земляных работ может нарушаться растительный слой за счет движения техники и непосредственного среза почвы. Для доступа к месту пролегания магистрального газопровода могут прорубаться кустарники.

Временные автомобильные дороги и проезды должны устраиваться с учётом требований по предотвращению повреждения плодородного слоя и древесно-кустарниковой растительности. Потери растительного слоя при прокладке временных дорог должны быть минимальными, не рекомендуется

					Социальная ответственность	Лист
						77
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

вырубать низкие кустарники вдоль полосы отвода. Они сохраняют устойчивость почвы и служат в качестве осадочного фильтра вдоль водоёмов.

Для снижения воздействия на окружающую среду и затрат на их возмещение при проведении работ по дефектоскопии сварных соединений на магистральном газопроводе необходимо выполнение следующих мероприятий:

1. Использование емкостей для сбора отработанных ГСМ, хозяйственных и производственных отходов;
2. Оборудование передвижных емкостей приспособлениями, исключающими разлив ГСМ при их транспортировке и заправке техники;
3. Строгое соблюдение правил работы в водоохраной зоне.
4. Озеленение водоохраных зон;
5. Ликвидация отходов производства и хозяйственных отходов на местах работы ремонтной бригады;
6. Соблюдение правил пожарной безопасности в бесснежный период времени;
7. Рекультивация земель по окончании работ.

#### **6.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях**

Магистральный газопровод пролегает вне территории населенных пунктов с учетом зоны минимальных расстояний. Магистральные газопроводы могут пролегать в болотах, лесистой местности, пустыне и т.д.

В рабочей зоне дефектоскописта могут возникнуть чрезвычайные ситуации как природного, так и техногенного характера.

Чрезвычайными ситуациями природного характера могут являться лесные пожары и наводнения.

Одним из наиболее вероятных и разрушительных видов чрезвычайных ситуаций является пожар или взрыв на рабочем месте. Содержание в воздухе метана более чем 4,4 % в смеси с воздухом может привести к взрыву.

Для обеспечения безопасности воздух в месте проведения работ проверяется на содержание метана при помощи газоанализатора. Содержание

					Социальная ответственность	Лист
						78
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

метана в воздухе рабочей зоны не должно превышать 1 %. Замеры производятся в разных точках с периодичностью не реже 1 раза в 30 минут.

Если при производстве работ по вскрытию газопровода выявится утечка газа из газопровода, работы должны быть немедленно прекращены, а люди выведены из шурфа (котлована). Работы следует продолжать после ликвидации утечки газа и загазованности.

Для организации работ по локализации аварий, инцидентов и ликвидации их последствий разрабатывают и утверждают план ликвидации аварий, издаются приказы на проведение аварийно-восстановительных работ.

### **Выводы**

Социальная ответственность является важным разделом выпускной квалификационной работы, отражающей вопросы промышленной безопасности, охраны труда и экологии.

Анализ проведенный в разделе социальная ответственность показал, что оценка работоспособности кольцевых сварных соединений на магистральном газопроводе является типом деятельности, при которой возникает множество опасных и вредных факторов. Магистральный газопровод является опасным производственным объектом, способным нанести ущерб как человеку, так и природе, вследствие чего рабочий-дефектоскопист обязан использовать средства индивидуальной защиты и быть социально застрахованным. После проведения работ проводятся меры по минимизации ущерба окружающей среде.

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

## Заключение

Кольцевые сварные соединения являются уязвимым местом трубопровода. Дефекты, определяемые с помощью устройств внутритрубной диагностики и методов неразрушающего контроля, нуждаются в расчете на работоспособность, для определения их допустимости – в этом случае дефект остается до проведения следующей ВТД, или недопустимости – в этом случае проводятся работы по замене участка трубопровода. Для оценки работоспособности кольцевых сварных соединений применяется методика, основанная на трех уровнях оценки.

В данной выпускной квалификационной работе были оценены 2 дефекта на кольцевом сварном шве магистрального газопровода диаметром 1420 мм – внутренние кольцевые трещины. Допустимость одного из них была определена на основе номограмм, а второго за счет расчета и использования диаграммы целостность-разрушение второго типа. Значения параметров  $L_r$ , который контролирует вязкое разрушение и  $K_r$ , который контролирует разрушение по механизму развития трещины составили:  $L_r = 0,96$  и  $K_r = 0,6$ .

В выпускной квалификационной работе были достигнуты поставленная цель и задачи в полном объеме, были рассмотрены вопросы промышленной безопасности, охраны труда, произведен расчет экономической эффективности исследования, который показал, что метод эффективен и конкурентоспособен.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Оценка работоспособности кольцевых сварных соединений на магистральных газопроводах			
Разраб.		Галимов Д.И.			Заключение	Лит.	Лист	Листов
Руковод.		Зарубин А.Г.					80	84
Консульт.						ТПУ гр. 2Б6А		
Рук-ль ООП		Брусник О.В.						

## Список использованных источников

1. Чучкалов М.В. Разработка методов выявления, торможения и предотвращения коррозионного растрескивания под напряжением на магистральных газопроводах: дисс. ... д-ра техн. наук. Уфа: ГУП «ИПТЭР», 2015. 364 с.
2. СТО Газпром 2-2.4-715–2013. Методика оценки работоспособности кольцевых сварных соединений магистральных газопроводов. М.: ООО «Газпром экспо», 2014.
3. Алимов С.В., Вышемирский Е.М., Нефедов С.В., Силкин В.М., Овсянников Е.Н. Система обеспечения надежности сварных соединений магистральных газопроводов на основе инновационных научно методических и технологических решений // Территория «НЕФТЕГАЗ». 2016. № 10. С. 82–86.
4. СТО Газпром 2-3.5-454-2010. Правила эксплуатации магистральных газопроводов. М.: ПАО «Газпром», 2010. 9 с.
5. Коршак А.А., Шаммазов А.М. Основы нефтегазового дела. Учебник для ВУЗов. Издание второе, дополненное и исправленное: - Уфа.: ООО “ДизайнПолиграфСервис”, 2002 – 544 с.
6. Официальный сайт ПАО «Газпром»: [Электронный ресурс] URL: <http://www.gazprom.ru/about/> (дата обращения: 14.03.2020)
7. Херцберг Р.В. Деформация и механика разрушения конструкционных материалов / Пер. с англ. - М.: Металлургия.- 1989. -575 с.
8. СТО Газпром 2-2.2-136-2007. Инструкция по технологиям сварки при строительстве и ремонте промышленных и магистральных газопроводов. М.: ООО «Информационно-рекламный центр газовой промышленности», 2007

					<i>Оценка работоспособности кольцевых сварных соединений на магистральных газопроводах</i>			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				
<i>Разраб.</i>		<b>Галимов Д.И.</b>			<i>Лит.</i>		<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Руковод.</i>		<b>Зарубин А.Г.</b>					81	84
<i>Консульт.</i>					<b>Список использованных источников</b>			
<i>Рук-ль ООП</i>		<b>Брусник О.В.</b>						
					<b>ТПУ гр. 2Б6А</b>			

9. Касьянов А. Н. Оценка работоспособности околошовных зон кольцевых сварных соединений магистральных трубопроводов: дис. ... канд. техн. наук. Москва, 2012
10. Сварка в машиностроении: Справочник. В 4-х т./Под ред. Г.А. Николаева. - М.: Машиностроение. – 1978. – т.1. – 465с.
11. Литвин И.Е., Аликин В.Н. Оценка показателей надежности магистральных трубопроводов. -М.: ООО "Недра-Бизнесцентр", 2003.
12. ГОСТ 30242-97. Дефекты соединений при сварке металлов плавлением. Классификация, обозначение и определения
13. Ланчаков Г.А., Зорин Е.Е., Степаненко А.И. Работоспособность трубопроводов: В 3-х ч. – М.: ООО «Недра-Бизнесцентр», 2003. – Ч. 3. Диагностика и прогнозирование ресурса. – 291 с.
14. СТО Газпром 2-2.4-083-2006. Инструкция по неразрушающим методам контроля качества сварных соединений при строительстве и ремонте промысловых и магистральных газопроводов. М.: ООО «Информационно-рекламный центр газовой промышленности», 2007
15. СТО Газпром 2-2.3-095-2007 Методические указания по диагностическому обследованию линейной части магистральных газопроводов. М.: ООО «Информационно-рекламный центр газовой промышленности», 2007
16. ВТД9.13.009. Методика по идентификации и оценке степени опасности дефектов кольцевых сварных швов. Екатеринбург, 2016.
17. Мазур И. И., Иванцов О. М. Безопасность трубопроводных систем.- М.: Центр «ЕЛИМА».- 2004.- 627.
18. ПБ 08624-03 Правила безопасности в нефтяной и газовой промышленности.
19. ГОСТ 12.2.003-91 Оборудование производственное. Общие требования безопасности.
20. Трудовой кодекс №197-ФЗ (с изм. и доп., вступ. в силу с 16.12.2019).

					Список использованных источников	Лист
						82
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

21. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила безопасного ведения газоопасных, огневых и ремонтных работ».
22. ГОСТ 12.1.005-88 Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.
23. ГН 2.2.5.3532-18 Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны.
24. СанПиН 2.6.1.2523-09 Нормы радиационной безопасности НРБ-99/2009.
25. НП 034-15 Правила физической защиты радиоактивных веществ, радиационных источников и пунктов хранения.
26. ГОСТ 12.1.001-89 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Ультразвук. Общие требования безопасности.
27. ГОСТ 12.1.010-76 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Взрывобезопасность. Общие требования.
28. ГОСТ 12.1.004-91 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Пожарная безопасность. Общие требования.
29. ГОСТ 12.1.019-2017 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.
30. ГОСТ 20426-82 Контроль неразрушающий. Методы дефектоскопии радиационные. Область применения.
31. ГОСТ 7512-82 Контроль неразрушающий. Соединения сварные. Радиографический метод.
32. СанПиН 2.2.4/2.1.8.582-96 Гигиенические требования при работах с источниками воздушного и контактного ультразвука промышленного, медицинского и бытового назначения.
33. ГОСТ 12.2.051-80 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Оборудование технологическое ультразвуковое. Требования безопасности.

					Список использованных источников	Лист
						83
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

34.ГОСТ 12.4.011–89 ССБТ. Средства защиты работающих. Общие требования и классификация.

35.Постановление Правительства РФ от 13.09.2016 N 913 О ставках платы за негативное воздействие на окружающую среду и дополнительных коэффициентах (с изменениями на 24 января 2020 года).

					<i>Список использованных источников</i>	<i>Лист</i>
						84
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		