

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

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

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Разработка математической модели движения механизма орбитального перемещения исполнительного органа по магистральному трубопроводу

УДК 620.179.1:622.692.4

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2БМ05	Юсупов Микаил Махамбетоглы		

Руководитель ВКР

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

Консультант

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

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Шарф Ирина Валерьевна	д.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОНД	Сечин Александр Иванович	д.т.н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

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

Томск – 2022 г.

РЕЗУЛЬТАТЫ ОСВОЕНИЯ ООП

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

Код компетенции	Наименование компетенции
ПК(У)-6	Способность к разработке учебно-методических материалов для первичной и периодической подготовки и аттестации специалистов в области обеспечения работы технологического оборудования
ПК(У)-7	Способность реализовывать программы профессионального обучения: планировать и проводить учебные занятия, оценивать достижение планируемых результатов для первичной и периодической подготовки и аттестации специалистов в области обеспечения работы технологического оборудования

Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <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>	Разработка математической модели; Установка зависимости силовых факторов, возникающих действующих на элементы конструкции в процессе движения
--	---

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i>	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Профессор, д.э.н., Шарф Ирина Валерьевна
Социальная ответственность	Доцент, к.т.н., Сечин Андрей Александрович
Английская часть	Профессор, д.ф.н., Матвеевко Ирина Алексеевна
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
Литературный обзор	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	26.01.22
--	----------

Задание выдал руководитель / консультант (при наличии):

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Валитова Елена Юрьевна	к.п.н.		26.01.22

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2БМ05	Юсупов Микаил Махамбетоглы		26.01.22

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

Студенту:

Группа	ФИО
2БМ05	Юсупов Микаил Махамбетоглы

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

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

<i>1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	Оценка стоимости материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих ресурсов на проведение исследования в области дефектоскопии и технической диагностики участка магистрального трубопровода
<i>2. Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	СТО Газпром РД 1.12-096-2004 Единые нормы времени и расценки на техническое диагностирование оборудования, сооружений и трубопроводов РД 153-112-017-97 Инструкция по диагностике и оценке остаточного ресурса вертикальных стальных резервуаров
<i>3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	Налоговый кодекс Российской Федерации 2. ФЗ №67 от 24.07.2009 в ред. от 26.03.2022

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<i>1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования; Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований; Определение возможных альтернатив проведения научных исследований, отвечающих современным требованиям в области ресурсоэффективности и Ресурсосбережения
<i>2. Планирование и формирование бюджета научных исследований</i>	Формирование бюджета затрат исследовательского проекта
<i>3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</i>	Определение интегрального показателя эффективности исследования. Расчет показателей ресурсоэффективности Оценка возможного сокращения затрат при техническом диагностировании в трубопроводном транспорте.

Перечень графического материала:

1. Оценка конкурентоспособности научно-технического исследования
2. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИИ
3. Расчеты по техническому диагностированию

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОНД	Шарф Ирина Валерьевна	Д.Э.Н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2БМ05	Юсупов Микаил Махамбетоглы		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

Группа		ФИО	
2БМ05		Юсупов Михаил Махамбетоглы	
Школа	ИШПР	Отделение (НОЦ)	ОНД
Уровень образования	Магистратура	Направление/ специальность	21.04.01. Нефтегазовое дело/ «Машины и оборудование нефтяных и газовых промыслов»

Тема ВКР:

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Объект исследования – самоходная каретка с промежуточной опорной поверхностью дефектоскопа. Область применения – неразрушающий контроль сварных соединений магистрального трубопровода методом рентгенографии.
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
<p>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: - специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; - организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.</p>	<p>ГН 2.2.5.552-96. Предельно допустимые концентрации вредных веществ в воздухе рабочей зоны. Гигиенические нормативы. ГОСТ 12.1.003-2014 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности. СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений. СП 52.13330.2011. Естественное и искусственное освещение. ГОСТ 12.2.003-91. Оборудование производственное. Общие требования безопасности.</p>
<p>2. Производственная безопасность: 2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия</p>	<p>Вредные и опасные факторы: - токсичные и вредные вещества; - повышенный уровень шума; - отклонение показателей микроклимата в рабочей зоне; - недостаточная освещенность рабочей зоны; - ионизирующее излучение; - подвижные части производственного оборудования; - электрический ток;</p>
<p>3. Экологическая безопасность:</p>	<p>Воздействие на атмосферу: выброс перекачиваемого углеводородного сырья иных загрязняющих веществ в результате образования сквозных отверстий, свищей в теле трубопровода. Воздействие на гидросферу: в процессе идентификации дефектов по результатам диагностического обследования трубопроводов возможен выход скважинной продукции в грунтовые воды, либо водный объект, если авария произошла на подводном</p>

	<p>переходе. Воздействие на литосферу: отходы внутритрубных отложений, образовавшихся в результате очистки.</p>
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	<p>Вероятные чрезвычайные ситуации: - выход углеводородов; - природные чрезвычайные ситуации; - возгорание углеводородов. Наиболее вероятные чрезвычайные ситуации: - возгорание углеводородов.</p>
Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Сечин Андрей Александрович	К.Т.Н		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2БМ05	Юсупов Михаил Махамбетоглы		

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

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

Форма представления работы:

Магистерская диссертация

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

Срок сдачи студентом выполненной работы:	17.06.2022
--	------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
27.03.2022	Введение	20
27.03.2022	Теоретические и методические основы неразрушающего контроля	10
24.04.2022	Расчет и анализ математической модели механизма орбитального перемещения	25
29.04.2022	Испытание на нагрузку и модернизация построенной модели	15
11.05.2022	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	15
11.05.2022	Социальная ответственность	10
16.06.2022	Оформление работы, составление презентации	5

СОСТАВИЛ:

Руководитель ВКР

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

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа содержит 136 страниц, 37 рисунков, 25 таблиц, 42 литературных источника, 1 приложение.

Ключевые слова: техническая диагностика, неразрушающий контроль, магистральный трубопровод, кольцевой сварной шов, математическая модель, орбитальное перемещение, самоходный дефектоскоп, каретка детекторного модуля.

Объектом исследования является математическая модель механизма орбитального перемещения с полезной нагрузкой выполняющий функцию самоходного дефектоскопа на основе промежуточной опорной поверхности для неразрушающего контроля кольцевых сварных соединений магистральных трубопроводов.

Цель работы – создание рекомендации по компоновке механизма орбитального перемещения с промежуточной опорной поверхностью, исследовав состояния механизма с промежуточной опорной поверхностью во время перемещения по опорной поверхности на трубопроводе.

В процессе исследования проводились построение математической модели каретки с последующей оценкой точек возможного напряжения и деформации к в зависимости от изменения различных геометрических параметров каретки.

В результате исследования получены сведения о приоритетной конфигурации конструкции для орбитального перемещения механизма по промежуточной опорной поверхности.

Область применения: контроль состояния сварных швов после ремонтно-восстановительных работ в нефтегазовой отрасли.

В будущем планируется создание опытного образца.

ОБОЗНАЧЕНИЯ, ОПРЕДЕЛЕНИЯ, СОКРАЩЕНИЯ

Сокращения:

НК – неразрушающий контроль;

ВИК – визуально измерительный контроль;

УЗ – ультразвук;

УЗК – ультразвуковой контроль;

МКЭ – метод конечных элементов;

МОП – механизм орбитального перемещения.

Нормативно-техническая документация:

ГОСТ 20911-89. Техническая диагностика. Термины и определения.

ГОСТ 18353-79. Контроль неразрушающий. Классификация видов и методов.

ГОСТ 21105-87. Контроль неразрушающий. Магнитопорошковый метод.

ГОСТ 24034-80. Контроль неразрушающий радиационный. Термины и определения.

ГОСТ 7512-82. Контроль неразрушающий. Соединения сварные.

Радиографический метод.

ГОСТ 23764-79. Гамма-дефектоскопы. Общие технические условия.

ГОСТ 18442-80. Контроль неразрушающий. Капиллярные методы.

Общие требования.

ГОСТ Р 54907-2012. Техническое диагностирование. Основные положения.

ГОСТ Р 55724-2013. Контроль неразрушающий. Соединения сварные.

Методы ультразвуковые.

РД 03-606-03. Инструкция по визуальному и измерительному контролю.

РД 51-2-97. Инструкция по внутритрубной инспекции трубопроводных систем.

ГОСТ 12.2.003-74. ССБТ. Оборудование производственное. Общие требования безопасности.

ГОСТ 12.0.003-74. ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.

ГОСТ 12.1.003-2014. ССБТ. Шум. Общие требования безопасности.

ГОСТ 12.1.029-80. ССБТ. Средства и методы защиты от шума. Классификация.

ГОСТ Р 12.1.019-2009. ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.

СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.

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

СП 52.13330.2011. Естественное и искусственное освещение.

Оглавление

Введение:	17
1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ.....	18
1.1. Магистральные трубопроводы	18
1.1.1. Конструктивные решения магистральных трубопроводов.....	19
1.1.2. Трубы для магистральных нефтепроводов	21
1.2. Контроль и диагностика сварных соединений трубопроводов.	22
1.2.1. Дефекты сварных соединений	22
1.3. Методы неразрушающего контроля.....	24
1.4. Выбор методов неразрушающего контроля	26
1.5. Визуально измерительный контроль (ВИК).....	30
1.6. Магнитный метод неразрушающего контроля	31
1.7. Метод течеискания.....	34
1.8. Капиллярный метод неразрушающего контроля.....	36
1.9. Ультразвуковой метод неразрушающего контроля (УЗК).....	38
1.10. Радиографический метод неразрушающего контроля	41
1.10.1. Схема просвечивания радиационным методом	44
2. РАСЧЕТ И АНАЛИЗ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ МЕХАНИЗМА ОРБИТАЛЬНОГО ПЕРЕМЕЩЕНИЯ.....	55
Введение	55
2.1. Разработка расчетной схемы.....	56
2.2. Оценка нагрузок, действующих на тележку в положении равновесия ..	56
2.3. Численное моделирование	56
2.4. Анализ результатов	56
3. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ, РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ	56
Введение	56
3.1. Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	58
3.2. Планирование научно-исследовательских работ.....	59
3.3. Определение трудоемкости выполнения работ	60
3.4. Разработка графика проведения научного исследования	61

3.5.	Бюджет научного-технического исследования	63
3.5.1.	Основная заработная плата	64
3.5.2.	Дополнительная заработная плата исполнителей тем.....	67
3.5.3.	Прочие расходы.....	69
3.6.	Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	70
3.7.	Техническое диагностирование	73
3.7.1.	Расчет норм времени на выполнение работ при техническом диагностировании оборудования, сооружений и трубопроводов.	73
3.7.2.	Расчет стоимости работ при техническом диагностировании оборудования, сооружений и трубопроводов	75
3.7.3.	Расчет технического диагностирования трубопроводов.....	77
	Вывод:	81
4.	СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ	82
	Введение:	82
4.1.	Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.....	83
4.2.	Производственная безопасность.....	85
4.3.	Анализ вредных производственных факторов и мероприятия по их устранению	85
4.3.1.	Повышенная загазованность рабочей зоны	86
4.3.2.	Недостаточная освещенность рабочей зоны	87
4.3.3.	Повышенный уровень ионизирующего излучения.....	91
4.3.4.	Утечки токсичных и вредных веществ в атмосферу	94
4.3.5.	Повышенный уровень шума и вибрации	95
4.3.6.	Отклонение показателей микроклимата в рабочей зоне	96
4.4.	Анализ опасных производственных факторов и мероприятия по их устранению	97
4.4.1.	Движущиеся машины и механизмы	97
4.4.2.	Поражение электрическим током.....	97
4.4.3.	Оборудование и трубопроводы, работающие под давлением	98
4.5.	Экологическая безопасность.....	99
4.5.1.	Воздействия объекта на атмосферу	99
4.5.2.	Воздействия объекта на гидросферу.....	100

4.5.3. Воздействия объекта на литосферу.....	100
4.6. Безопасность в чрезвычайных ситуациях	100
4.6.1. Чрезвычайные ситуации техногенного характера	101
4.6.2. Чрезвычайные ситуации природного характера	102
Вывод:	102
Заключение.....	103
Список используемых источников:	104
ПРИЛОЖЕНИЕ А.....	109

Введение

Нефтегазовая промышленность, является базовой отраслью экономики Российской Федерации. По мере развития нефтяной промышленности возросла потребность в транспорте больших объемов нефти и нефтепродуктов. Магистральные трубопроводы имеют большое значение в транспорте нефти и других углеводородов в различных климатических условиях. Вопрос экономически эффективного и экологической безопасного производства транспорта углеводородов во многом зависит от качества обслуживания и эксплуатации магистральных трубопроводов.

Экономический ущерб для предприятия от аварий с разливом нефти включает не только дополнительные затраты на покупку продукта для его восполнения, но и затраты, связанные с рекультивации загрязненных территорий. Как известно с практической точки зрения, транспорт нефти является сложнейшей производственной задачей, включающее создание условий для долгосрочной безаварийной эксплуатации трубопровода. В настоящее время особое внимание уделяется первичной качественной диагностики, в том числе кольцевых сварных швов, для предупреждения возможных аварий.

За период с 2000 года основные компании по транспорту углеводородов ввели в эксплуатацию более 40 тысяч километров магистральных трубопроводов. Что, по грубой оценке, дает 170 тысяч кольцевых сварных соединений в год. Для проведения работ необходимо качественное оборудование, одной из важнейших характеристик которого является мобильность и автономность, которая в большей степени зависит от веса конструкции и простоты механизма. Один из современных способов реализуется на основе каретки орбитального перемещения диагностического оборудования. Проектирование оборудования с расчетом напряженно-деформированного состояния позволяет выявить места повышенной и минимальной напряженности, что позволяет уменьшение веса без потери надежности и улучшить потребительские качества [1].

1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ

1.1. Магистральные трубопроводы

Магистральными трубопроводами называется система трубопроводного транспорта углеводородного сырья, в том числе:

- природного газа, попутного нефтяного газа;
- сжиженного природного газа;
- нефти и продуктов их переработки.

Транспортирование обычно осуществляется при давлении в трубопроводе не более 10 МПа. Сеть трубопроводов покрывает обширные территории и протягивается от месторождений до станций подготовки, переработки и очистки, химических заводов, заводов по сжижению природного газа через множество дожимных насосных станций, газораспределительных станций, замерных систем учета и, в конечном счете, доставляется потребителю [3].

Производственный цикл добычи нефти начинается в пласте, откуда по скважинам при помощи штанговых или центробежных насосов поднимается на поверхность. От скважин продукция движется по промысловым нефтепроводам в нефтесборный коллектор. Далее продукция скважин отправляется на установку комплексной подготовки нефти, где происходит удаление воды, мех. примесей, выделение из нефти фракций с целью получения товарной нефти. Товарная нефть затем при помощи насосных станций попадает в магистральный нефтепровод и затем – через систему нефтеперекачивающих станций – к потребителю.

Магистральные нефтепроводы имеют диаметр от 530 до 1420 мм и отличаются от нефтепровода наличием множества отводов к нефтебазам.



Рисунок 1 – Магистральные трубопроводы

Магистральные нефте- и нефтепродуктопроводы в зависимости от условного диаметра подразделяются на четыре класса:

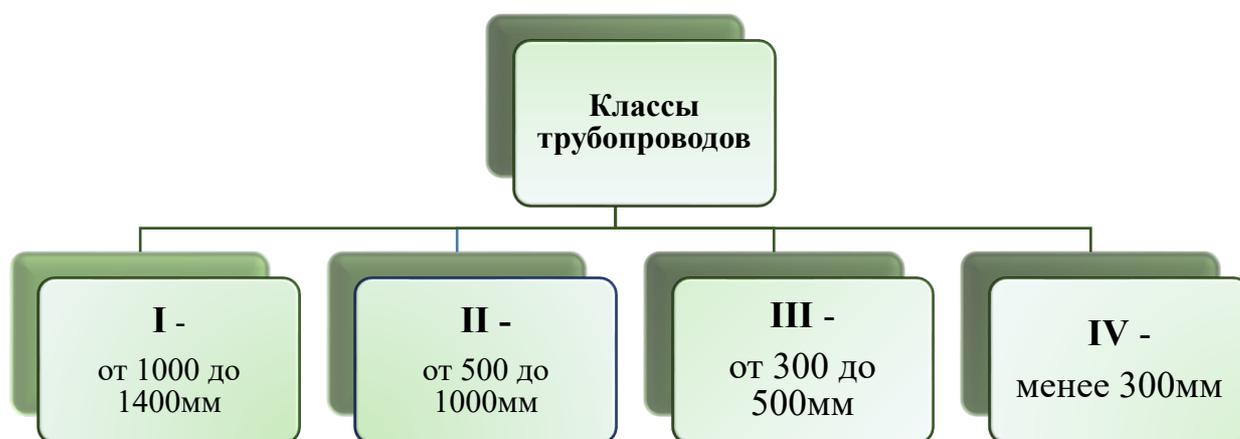


Рисунок 2 – Классы магистральных трубопроводов

1.1.1. Конструктивные решения магистральных трубопроводов.

С целью обеспечения безопасной и бесперерывной перекачки и предупреждения незаконных врезок нефтепроводы прокладываются под землей. При осложненных условиях (болота, вечномёрзлый грунт, горная местность,

неустойчивый грунт, пустынная местность, естественные и техногенные препятствия и пр.) прокладка осуществляется наземно на насыпи или надземно с применением опор [2].

По взаимному положению магистральных нефтепроводов они прокладываются одиночно либо с строительством параллельных веток. С целью обеспечения безопасности эксплуатации нефтепроводов их число для параллельной прокладки определяется на основании отраслевых документов.

Глубина траншеи для проложения нефтепровода зависит от его диаметра и свойств грунта. Регламентированные значения глубин представлены в таблице 1.

Для нефтепровода в зависимости от диаметра, рабочего давления, транспортируемой продукции устанавливается санитарная защитная зона (СЗЗ). СЗЗ – это допустимое минимальное расстояние от оси трубопровода до населенных пунктов, предприятий и сооружений в зависимости от степени ответственности объекта [3].

Таблица 1 – Глубина заложения трубопроводов

При условном диаметре менее 1000 мм	0,8
При условном диаметре 1000 мм и более	1
На болотах и торфяных грунтах подлежащих осушению	1,1
В песчаных барханах (считая от межбарханных впадин)	1
В скальных грунтах, болотистой местности при отсутствии проезда автотранспорта и сельскохозяйственных машин	0,6
На пахотных и орошаемых землях	1
При пересечении искусственных каналов (от дна каналов)	1,1

При прокладке параллельных веток нефтепроводов необходимо учесть гидрографию местности, прочность грунта и прочих факторов, оказывающих влияние на безопасность осуществления перекачки и надежность прокладываемых веток трубопровода.

Ширина траншеи по низу должна составлять не менее (мм):

- для трубопроводов диаметром до 700 – D
- для трубопроводов диаметром 700 и более $\sim 1,5D$
- при диаметрах 1200 и 1400 мм и при траншеях с откосом свыше 1:0,5, ширину траншеи допускается уменьшить до $D+500$ мм.

1.1.2. Трубы для магистральных нефтепроводов

Наиболее распространенным материалом при изготовлении труб является сталь ввиду высоких прочностных характеристик, доступной стоимости и возможности проведения качественной сварки при строительстве протяженного нефтепровода. На рисунке 3 представлены виды наиболее распространенных на сегодняшний день труб.



Бесшовные трубы



Сварные трубы со спиральным швом



Сварные трубы с продольным швом

Рисунок 3 – Виды трубопроводов по способу изготовления

Бесшовные трубы предназначены для магистральных трубопроводов диаметром до 529 мм, а сварные трубы актуальны при диаметрах 219 мм и выше [4].

Значения наружного диаметра и толщины стенки труб регламентированы. При изготовлении труб учитывается климатическое исполнение. Так как большинство месторождений страны расположено в условиях Крайнего Севера и местностях, приравненных к ним, трубы зачастую имеют исполнение для

макроклиматических районов с умеренным и холодным климатом. Область применения таких труб температура климата от - 60°C до +40 °C. В соответствии с исполнением труб и необходимыми прочностными характеристиками выбирается марка стали трубы [7].

Широкое распространение получили трубы из углеродистых и низколегированных сталей, все трубы покрываются различными видами защиты, также трубопроводы подвергаются периодическому контролю и проводится техническая диагностика сварных соединений труб.

1.2. Контроль и диагностика сварных соединений трубопроводов.

Для выявления тенденций в области дефектоскопии сварных швов целесообразно ознакомиться с существующими методами неразрушающего контроля и используемых в них типах оборудования, что позволит целесообразность и применимость использования тех или иных технических решений.

Техническая диагностика сварных соединения производится в виде первичного контроля при вводе в эксплуатацию вновь построенных объектов, а также для эксплуатируемых трубопроводов при ремонте или подтверждение остаточного срока эксплуатации.

Целью технической диагностики являются повышение экономической эффективности, промышленной и экологической безопасности. Задачами, решаемыми для достижения цели, являются:

- Установление наличия дефектов и несоответствий, а также причин их появления и определение состояния технологического оборудования;
- Прогноз касательно будущего технического состояния и остаточного ресурса трубопровода [2].

1.2.1. Дефекты сварных соединений

Одной из распространенных причин выхода нефтепровода из строя являются дефекты сварных соединений, ввиду чего необходима их постоянная

диагностика. Выделяют две основные причины дефектов в сварном соединении – дефекты в структуре и дефекты при сварке и остывании. По первой причине возникают такие дефекты как шлаковые включения и трещина, которые приводят к снижению механических характеристик металла и околошовной зоны. По второй причине образуются дефекты формирования швов: непровар, подрез, прожог, наплыв, дефект геометрии сварного шва и др. Такие дефекты являются следствием низкого качества сварки, некачественных материалов, недостаточной квалификацией сварщика.

Дефекты по месту расположения подразделяются на внешние и внутренние. К внешним относятся: нарушение необходимых размеров, формы шва, непровар, подрез зоны сплавления, поверхностное окисление, прожог, наплыв, поверхностные поры, незаваренные кратеры и трещины на поверхности шва. К внутренним дефектам относятся следующие: внутренние поры, неметаллические включения, непровар и внутренние трещины. Виды дефектов приведены на рисунке 1. Дефектами формы и размеров сварных швов являются их неполномерность, неравномерные ширина и высота, бугристость, седловины, перетяжки и т.п [3].

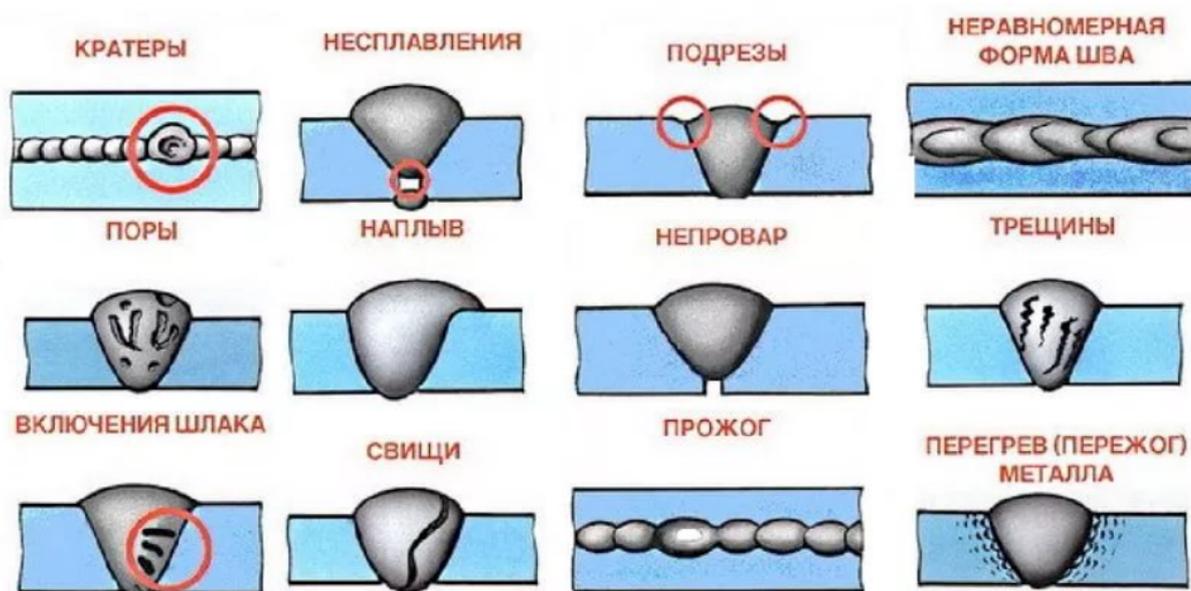


Рисунок 4 – Виды дефектов сварных соединений

Подрезы образуются в основном металле шва ввиду чрезмерного тока сварки и длины дуги. Они представляют собой вытянутые углубления в виде русел и приводят к уменьшению площади сечения шва и концентрируют напряжения в области сварного шва.

Газовые поры – возникают в сварных швах при неполном выходе газов в процессе кристаллизации из металла шва. Поры возникают ввиду низкого качества подготовки свариваемых кромок или большой скорости сварки. Применение влажных электродов или флюса также может привести к пористости сварного шва. Зачастую они располагаются отдельными группами или единой пустотой. При выходе на поверхность поры образуют свищи [4].

Наплывы – представляют собой отдельно застывшие капли металла на поверхности трубы или значительно протяженные вдоль шва натекания жидкого металла на холодную поверхность без сплавления. Чаще всего наплывы образуются при выполнении горизонтальных сварных швов на вертикальной плоскости. В местах наплывов часто выявляются выявляться непровары, трещины.

Непровар - место несплавления основного металла или несплавление между собой отдельных слоев сварке, уменьшают сечение шва, вызывают повышенную концентрацию напряжения.

Трещины - по своим размерам трещины бывают макро- и микроскопическими. Могут иметь продольное и поперечное расположение относительно шва, располагаться в шве или околошовной зоне.

Также кроме перечисленных выше, существует еще множество других видов дефектов сварных соединений, но все эти дефекты можно выявить и исправить одним способом, проведя неразрушающий контроль соединений швов магистрального трубопровода.

1.3. Методы неразрушающего контроля

Неразрушающий контроль (НК) подразумевает визуальный контроль, регистрацию и анализ результатов физических методов контроля. В зависимости

от типов дефектов и оборудования выбирают визуальный, ультразвуковой, магнитный и другие методы контроля.

Так как все методы НК являются косвенными, необходимо проведение калибровки приборов по стандартным контрольным образцам.

Каждый метод НК имеет свою область применения и единого метода контроля для всех типов дефектов не существует. Стандартный набор для проведения неразрушающего контроля обычно включает: прибор, преобразователь и стандартный образец [5].

Область применения метода определяется его чувствительностью – величиной минимального выявляемого дефекта. Она ограничивается физической природой метода, свойствами металла оборудования и внешних условий проведения контроля. Таким образом, при успешной диагностике методом НК одних дефектов, эффективность метода может оказаться меньше или вовсе неэффективным для другого типа дефектов.

Определение области применения метода и его погрешностей осуществляется с учетом:

- минимального радиуса кривизны, вогнутой и выпуклой поверхностей;
- шероховатости контролируемой поверхности;
- структуры материала;
- геометрических размеров зоны контроля;
- других влияющих факторов, указанных в инструкциях для конкретных приборов.

Приоритетными методами диагностики являются такие методы, при которых возможна дальнейшая эксплуатация оборудования, то есть не происходит разрушения тела оборудования и метод не влияет на его техническое состояние [6].

Каждый метод неразрушающего контроля основан на изменении физико-химических свойств металла оборудования (плотность, электропроводность, упругости и пр.) и его прочностных характеристик. Приборы НК фиксируют

данные изменения и на их основании производится оценка параметров дефекта. По этому принципу осуществляется контроль такими методами как: радиографический, ультразвуковой, магнитный и электромагнитный, капиллярный и т.д.

Все неразрушающие физические методы дефектоскопии согласно ГОСТ 18353-73 [17] подразделяются на 10 основных видов, однако зачастую на практике чаще всего применяются 6 методов контроля (Рис.4).



Рисунок 5 – Методы неразрушающего контроля.

1.4. Выбор методов неразрушающего контроля

В зависимости от глубины расположения дефекта выделяют:

- поверхностные (от 0,5 до 1,0 мм);
- подповерхностные;
- внутренние дефекты (> 1,0 мм).

При глубине дефекта от 0,5 до 1,0 мм наибольшую эффективность проявили визуальный, капиллярный (проникающими веществами ПВК) и магнитопорошковый методы неразрушающего контроля. При более глубоких дефектах применяются ультразвуковой, магнитопорошковый и вихретоковый методы. Если дефект расположен на глубине более 1,0 мм методы кроме

ультразвукового и радиографического показывают низкую эффективность.

Наиболее типичные типы дефектов можно определить на основании условий эксплуатации и типа оборудования. Оборудование, подвергающееся постоянному или периодическому воздействию высоких нагрузок и напряжений, неоднородных по направлению, температур за пределами эксплуатационно допустимых значений, а также воздействию агрессивных сред, к которым относится углеводородное сырье, имеет характерные дефекты. При повторно-переменных напряжениях в оборудовании возможно возникновение усталостного разрушения. Поэтому для диагностики оборудования методами неразрушающего контроля проводят анализ наиболее подверженных участков, называемых критическими.

Технические условия (ТУ) изделия включают в себя технические требования к основным параметрам и характеристикам, тем самым определяют количественные критерии недопустимости в нем разного рода дефектов.

В зависимости роли различные компоненты конструкции оборудования имеют разные требования к качеству, которые должны фиксироваться в технических условиях изделия. В руководящих и отраслевых документах описаны методы НК и типы оборудования и дефектов, к которым они применимы.

Выбор метода контроля осуществляется на основании свойств материала диагностируемого оборудования. При достаточных проявлениях ферромагнитных свойств материала и при их однородности приоритетным методом анализа является магнитный. При достаточных упругих свойствах материала высокую эффективность проявляет ультразвуковой метод контроля. При достаточной электропроводности и однородных магнитных свойствах материала применяется вихретоковый метод НК.

Метод контроля проникающими веществами (капиллярный) применим в условиях отсутствия пор в материале, которые могут привести к недостоверным результатам диагностики. Кроме того, в методе используются органические растворители, поэтому материал не должен с ними взаимодействовать.

Радиографический метод контроля широко применим и используется для диагностики любых материалов, не препятствующих проникновению ионизирующих лучей. Ограничением применения технологии является толщина более 400 мм.

При сложной конструкции анализируемого изделия эффективность многих методов снижается. Например, ультразвуковой контроль сложной конструкции невозможно провести в полной мере из-за трудности расшифровки результатов контроля и наличия мертвых зон, а капиллярного – из-за трудности выполнения отдельных операций, особенно подготовки деталей к контролю и удаления с поверхности проникающей жидкости.

Крупногабаритные изделия контролируют, если позволяет конструкция, по частям.

Подготовка к проведению контроля подразумевает исключения из области контроля элементов, оказывающих влияние на достоверность результатов. Например, при ультразвуковой диагностики зона контроля не должна включать заклепки, болты, отверстия и т.д.

Качество и шероховатость поверхности диагностируемого оборудования оказывают влияние на выбор метода НК, так как они имеют различную чувствительность. На результаты контроля методами ПВК, ультразвуковым и магнитопорошковым шероховатость оказывает значительное влияние. Кроме того, их применение невозможно при наличии защитного покрытия на анализируемом оборудовании или изделии. Основным преимуществом вихретокового контроля является возможность применения при наличии лакокрасочного или защитного покрытия толщиной до 2 мм. При этом покрытие должно быть немагнитное для предупреждения получения недостоверных результатов. Ультразвуковой метод чувствителен к шероховатости поэтому контроль осуществляется при шероховатости поверхности Rz 40 мкм и меньше.

Внешние условия оказывают влияние на выбор метода контроля. Контроль осуществляется при температуре не менее 0 °С. Место проведения контроля должно быть огорожено, при проведении диагностики необходимо исключить

возможные источники помех (например, загрязняющих веществ, вибрации, шума, отвлекающих факторов и пр.).

Наличие доступа к объекту с двух сторон является обязательным условием проведения радиационного метода, для остальных методов контроля по большей части достаточно доступа, с одной стороны.

Зачастую один метод контроля не обеспечивает получения полных сведений о дефекте или состоянии оборудования, или изделия, поэтому обычно контроль осуществляется несколькими методами, затем осуществляют оценку с учетом результатов различных методов диагностики.

Например, контроль сварных соединений включает применение радиографического (позволяет оценить несплошности в объеме) и ультразвукового методов (оценка плоских дефектов). Сочетание методов в данном случае позволяет выявить такие дефекты как: поры, наличие включений, трещины с раскрытием менее 100 мкм и т.д.

Технологии методов разработаны таким образом, чтобы обеспечить минимизацию вредного влияния используемого оборудования и материалов на специалиста неразрушающего контроля. Наибольшую опасность представляют методы с использованием ионизирующих лучей и, в меньшей мере, с использованием ультрафиолетовых осветителей.

С целью обеспечения наибольшей безопасности широко применяется автоматизация процессов. Наибольшая степень внедрения автоматизированных систем приходится на вихретоковый, магнитный, радиометрический и некоторые виды теплового методов.

Такие методы не требуют контакта преобразователя и изделия, а информация о выявленных дефектах отображается и архивируется в приборе. Ультразвуковой контроль, в свою очередь, требует непрерывного контакта с поверхностью анализируемого прибора или изделия, покрытого жидкостью для УЗК. Прочие методы требуют визуальной обработки данных о выявленных несплошностях, ввиду чего имеют низкую степень автоматизации.

Наиболее ресурсоемкими и дорогостоящими методами неразрушающего

контроля являются радиографический метод и методы течеискания. Наименее затратный метод НК – капиллярный, для которого требуются только специальные растворители и индикаторные жидкости. Сравнительный анализ затрат на радиационный и ультразвуковой методы при диагностике сварных соединений с толщиной 10-20 мм показывает преимущество ультразвукового контроля, для которого затраты в 3-5 раз ниже.

Обобщая все сказанное, необходимо заметить, что при сопоставлении методов НК и при выборе конкретного метода наиболее важной характеристикой является возможность обнаружить дефект (Рис.5).

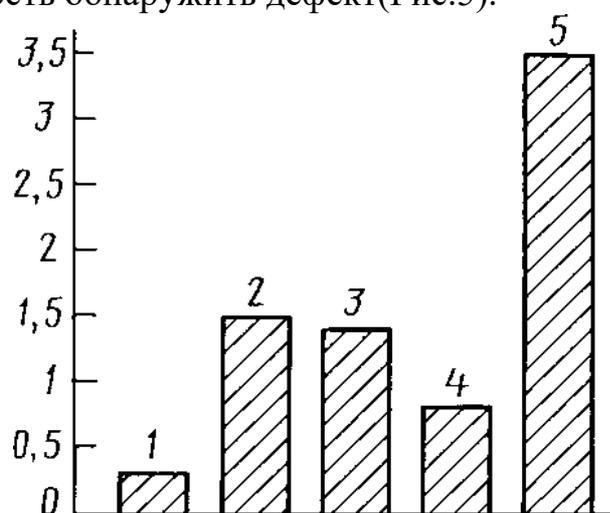


Рисунок 6 – Сравнительная выявляемость дефектов различными методами контроля:

1 – визуально-оптическим; 2 – рентгенографическими; 3 – магнитными; 4 – капиллярными; 5 – УЗ контроль

По данным отечественных и зарубежных исследователей, выявляемость дефектов капиллярным и визуальным методами составляет 0,2; рентгено- и гаммаграфический методы характеризуются оценкой, близкой к 1,7. В то же время для УЗ метода этот коэффициент > 3 .

1.5. Визуально измерительный контроль (ВИК)

Наиболее универсальным методом неразрушающего контроля, который применяется практически всех этапах изготовления изделий с помощью визуального осмотра и замера геометрических параметров изделий и сварного

соединения



Рисунок 7 – комплект оборудования для ВИК

Визуально-измерительный контроль труб и сварных соединений производится на следующих стадиях:

- входной контроль;
- установка труб под сварку;
- после ремонта;
- оценки состояния материала и сварных соединений в процессе эксплуатации трубопровода, в том числе по истечении установленного срока их эксплуатации [7].

1.6. Магнитный метод неразрушающего контроля

Метод неразрушающего контроля, основанный на регистрации изменения взаимодействия контролируемого объекта и электромагнитным полем называется магнитным. Для целей метода используется обширный спектр электромагнитных полей, от постоянного электрического и магнитного полей до переменных полей с частотой в десятки МГц.

При помощи данного метода определяют поверхностные и подповерхностные дефекты сварных соединений, к числу которых относятся несплошности на глубине до 10 мм – непровары, трещины, газовые поры, шлаковые включения.

Информацию о наличии дефектов получают посредством регистрации и анализа, магнитных полей рассеяния, возникающих над местами расположения дефектов.

Возможность применения магнитных методов контроля ферромагнитных материалов основана на их свойствах. В обычном состоянии в изделии из ферромагнитного материала как бы находятся расположенные различным образом самопроизвольно намагниченные области - домены, поля которых в этом случае компенсируют друг друга и результирующее магнитное поле изделия равно нулю. Под влиянием магнитного поля домены ориентируются в направлении этого поля, суммируются и деталь намагничивается. На рисунке 7

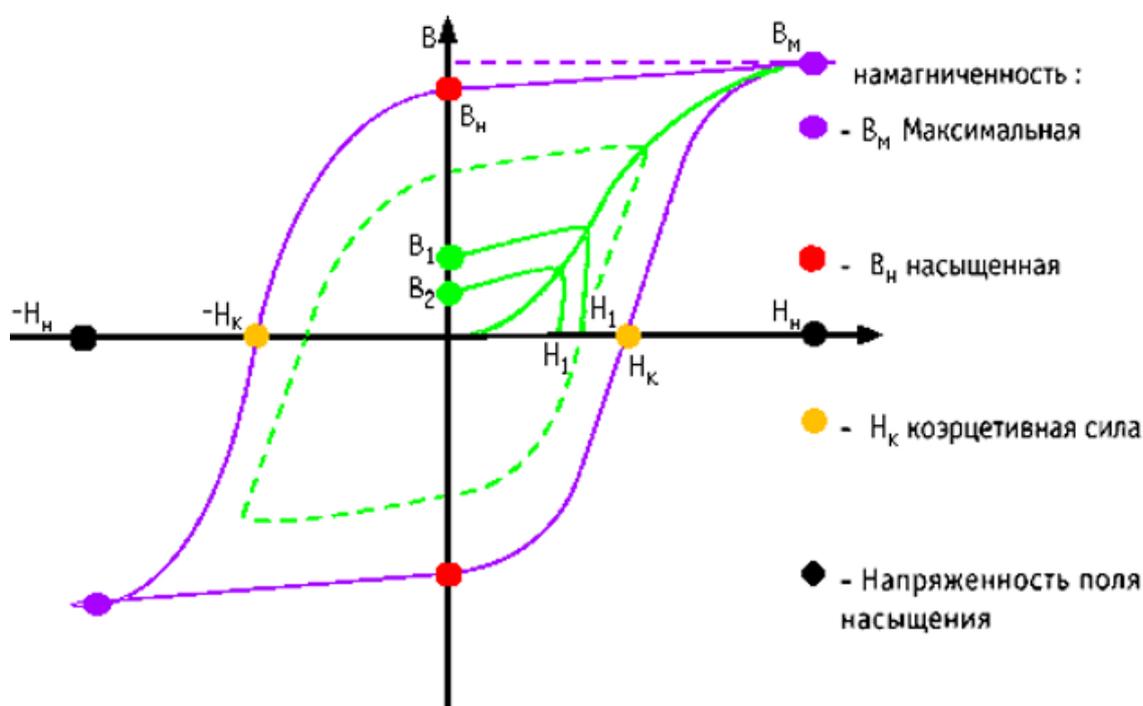


Рисунок 8 – Петля Гистерезиса

Магнитный поток в теле ферромагнитного материала распространяется равномерно по сечению, в том случае если материал имеет сплошную структуру и его магнитная проницаемость постоянна.

Сплошность материала нарушается в тех местах, где локализуются дефекты. Сопротивление, оказываемое магнитному потоку со стороны среды с дефектами, во много раз больше, поэтому поток отклоняется и словно обтекает дефект. В этом месте магнитное поле сгущается и частично выходит за пределы изделий, распространяется по воздуху, а затем входит обратно в изделие за дефектом.

В тех местах, откуда выходит магнитный поток и куда он входит, образуются магнитные полюса, которые к тому же остаются и после снятия намагничивающего поля за счет остаточной намагниченности.

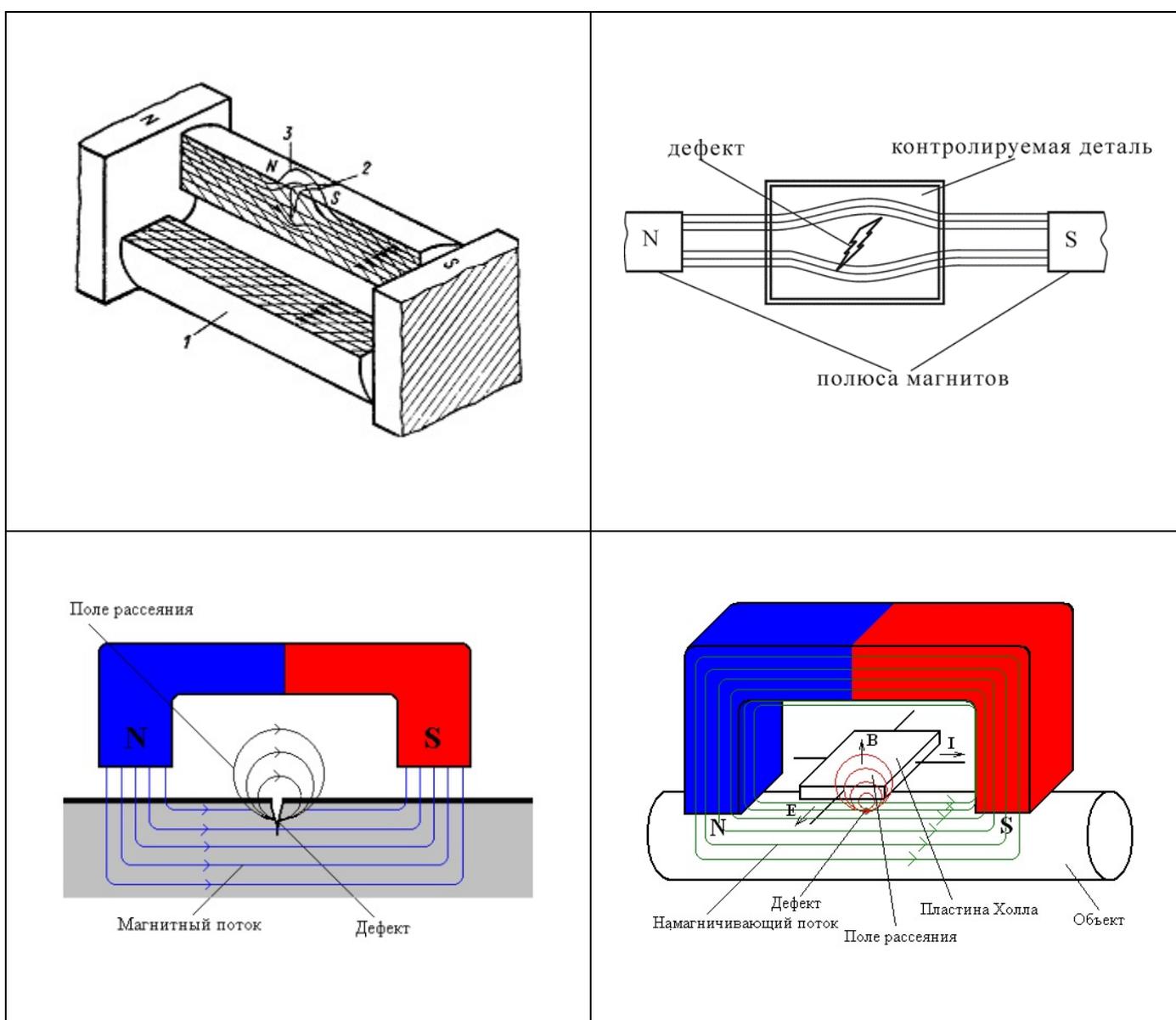


Рисунок 9 – Схема образования магнитного поля над дефектом:

1 – контролируемая деталь; 2 – трещина; 3 – магнитное поле рассеивания; N, S

Магнитное поле, возникающее над дефектом, называется полем рассеяния. Если дефект расположен перпендикулярно направлению магнитного потока, то эффект рассеяния проявляется максимально. Поэтому контролируемые сварные соединения намагничивают и в продольном, и в поперечном направлениях относительно оси шва. Такой подход позволяет выявить дефекты, расположенные как вдоль, так и поперек шва, а также расположенные под небольшим углом к нему.

Таким образом, контроль магнитными методами заключается в обнаружении полей рассеяния, образуемых дефектами, расшифровке характера и величины выявленных дефектов. Магнитные методы контроля классифицируются по регистрирующим способам, которых насчитывается более шести:

- Магнитопорошковый
- Магнитографический
- Магнитоферрозондовый
- Индукционный
- Магнитополупроводниковый.

Распространение в области неразрушающего контроля сварных соединений нашли наибольшее применение только два метода: магнитопорошковый и магнитографический.

1.7. Метод течеискания

К сварным соединениям трубопроводного транспорта предъявляются требования по непроницаемости для жидкости и газа, то есть надежности свариваемой конструкции, герметичностью. Неплотности сварных соединений могут приводить к утечке вещества – течи.

Течь – это сквозной дефект в сварном соединении, размер которого позволяет выйти продукту наружу. Сквозных дефектов подразделяются на первичные и вторичные дефекты. Первичные, это дефекты, образованные при

формировании сварного шва, к ним относятся свищи – сквозные поры, удлиненные по типу каналов, горячие трещины и непровары со шлаковыми включениями. Вторичные же дефекты – это те, которые появляются через какое-то время после сварки – усталостные и холодные трещины [8].

Методика течеискания основана на создании контраста за счет пробного и контрольного вещества, возникающего в месте течи. Минимальный диаметр выявляемых каналов в миллиметрах определяем степень чувствительности метода.

В качестве пробного вещества в различных методах применяют различные газы или жидкости. В качестве газов используют: воздух, азот, гелий, галоиды, аммиак, углекислый газ или смеси этих газов. Контрольными жидкостями являются: вода, керосин, растворы, пенетранты и другие. Все методы течеискания и их пороговая чувствительность приведены в таблице 2. На практике чаще всего используется воздух, вода, керосин, в редких случаях радиационный метод.

Таблица 2 – Методы течеискания и их чувствительность

№ пп	Метод	Пробное вещество	Способ индикации	Диаметр канала, мм
1	Гидравлический	Вода	Течь, пятна на бумаге	$1 \cdot 10^{-3}$
2	Люмогидравлический	Светящиеся жидкости	Течь и свечение	$3 \cdot 10^{-5}$
3	Керосиновый	Керосин	Пятна на меловом фоне	$3 \cdot 10^{-5}$
4	Пневматический	Воздух, азот	Пузырьки газа в пенообразователе или жидкости	$7 \cdot 10^{-4}$
5	Пневмогидравлический	Воздух, азот	Пузырьки газа в пенообразователе или жидкости	$7 \cdot 10^{-4}$
6	Вакуумный	Воздух, азот	Пузырьки газа в пенообразователе или жидкости	$6 \cdot 10^{-5}$
7	Манометрический	Жидкость или газ	Падение давления	$6 \cdot 10^{-5}$
8	Химический	Жидкость или газ	Контрастные пятна	$1 \cdot 10^{-5}$
9	Радиационный	Жидкость или газ с добавлением радиовеществ	Измерение излучения	$5 \cdot 10^{-7}$

10	Галогенный	Галойды	Повышение концентрации	$3 \cdot 10^{-5}$
11	Катарометрический	Газы	Повышение концентрации	$6 \cdot 10^{-5}$
12	Массопетрометрический	Гелий	Повышение концентрации	$5 \cdot 10^{-7}$

Чаще всего метод применяется на практике при выявлении дефектов на уже работающем трубопроводе. Однако не позволяет выявить несквозные дефекты [9].

1.8. Капиллярный метод неразрушающего контроля

Для выявления поверхностных дефектов вроде микротрещин и трещин применяют капиллярный метод контроля. Такие дефекты выходят на поверхность изделия, к ним также относятся узкие непровары и мелкие поверхностные поры, которые сложно обнаружить во время внешнего осмотра.

В особенности данный метод неразрушающего контроля важен для выявления дефектов в ответственных сварных соединениях из жаропрочных, аустенитно нержавеющей и жаростойких сталей, алюминия, латуни, свойствами которых ограничены возможности использования других методов. Поверхностные дефекты, имеющие размеры микроскопического раскрытия и микроскопической протяженности (с соотношением не более 1:10) имеют свойства капилляров. В соответствии с этим, и метод, с помощью которого обнаруживают такие дефекты, называют капиллярным.

В основе капиллярного метода используется жидкость текучесть которой позволяет проникать в поры и каналы участка металла. После проникновения индикаторной жидкости получают индикаторные следы в основном визуальным способом [11].

Метод позволяет выявлять дефекты имеющие исключительно сплошное или поверхностное расположения, с определением их их протяженности, ориентации и расположения на поверхности (для дефектов типа трещин, имеющих протяженность).

При помощи изменения контрастностей фона и изображения

поверхностных дефектов и происходит выявление дефектов. Для этого используются специальные светоконтрастные и цветоконтрастные индикаторные жидкости – пенетранты.

Первым этапом контроля является зачистка поверхности с последующим нанесением пенетранта. Жидкость выдерживается в течение времени, достаточного для заполнения полости дефекта, а ее избыток удаляется. На следующем этапе наносится проявитель и, взаимодействия с индикаторной жидкостью, он образует четко выделяющееся пятно, которое говорит и наличии и характере дефекта.

Основные этапы контроля капиллярным методом показаны на рисунке 9 [4].

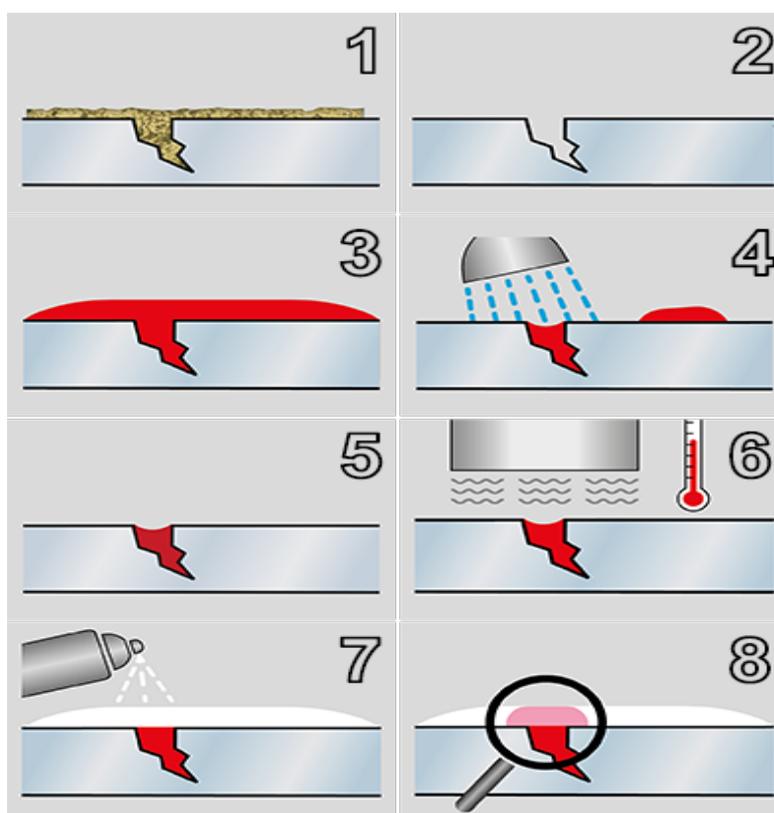


Рисунок 10 – Этапы капиллярного контроля

1 – Загрязненная трещина; 2 – Предварительная очистка; 3 – Нанесение пенетранта; 4 – Удаление избытков пенетранта; 5 – Промежуточная очистка поверхности; 6 – Сушка; 7 – Нанесение проявителя; 8 – Оценка результатов контроля.

1.9. Ультразвуковой метод неразрушающего контроля (УЗК)

Ультразвуковой метод контроля был предложен советским физиком С.Я. Соколовым в 1928 году и в настоящее время является одним из основных методов неразрушающего контроля. Область применения метода УЗК распространяется на большое число оборудования, например, на сварные соединения, сосуды и аппараты, работающие под избыточным давлением, трубопроводы, резервуары и т.д. В технических условиях многих изделий и оборудования ультразвуковой метод помечен как обязательный при проведении диагностики методами неразрушающего контроля, в том числе для авиационных двигателей, трубопроводов атомных реакторов или железнодорожных рельс.

Таблица 3 – Достоинства и недостатки ультразвукового метода неразрушающего контроля

№	Достоинства УЗК	Недостатки УЗК
1	высокая чувствительность к наиболее опасным дефектам типа трещин и непроваров	невозможность оценки реального размера и характера дефекта
2	низкая стоимость	трудности при контроле металлов с крупнозернистой структурой из-за большого рассеяния и сильного затухания ультразвука
3	безопасность для человека (в отличие от рентгеновской дефектоскопии)	повышенные требования к состоянию поверхности контроля (шероховатости и волнистости)
4	возможностью вести контроль непосредственно на рабочих местах без нарушения технологического процесса	---
5	при проведении УЗК исследуемый объект не повреждается	---
6	возможность проводить контроль изделий из разнообразных материалов, как металлов, так и неметаллов.	---

По приведенной выше таблице можно увидеть, что количество достоинств данного метода неразрушающего контроля превышает количество его

недостатков.

Многообразие задач, возникающих при необходимости проведения неразрушающего контроля различных изделий, привело к разработке и использованию ряда различных акустических методов контроля (Рис.10).



Рисунок 11 – Классификация акустических методов УЗК

При помощи ультразвука можно обнаружить внутренние макроскопические дефекты литья, поковок, сварки (трещины, раковины, шлаковые включения, газовые поры, непровары и т.д.).

Ультразвук – это упругие механические колебания частиц среды, частота которых располагается за пределами слышимого диапазона, т.е. от 20 кГц до 500 МГц [12].

Ультразвуковые волны могут быть получены механическим, термическим, пьезоэлектрическим и другими методами. В ультразвуковой дефектоскопии металлов и сварных соединений чаще используется пьезоэлектрический способ получения ультразвука.

Некоторые природные кристаллы, например, кварц, турмалин, сегнетова

соль и другие обладают пьезоэлектрическим эффектом. Сущность пьезоэлектрического эффекта состоит в том, что если из этих кристаллов определенным образом вырезать пластинку, то при сжатии или растяжении этой пластинки на ее поверхности появляется электрический заряд: на одной стороне - положительный, на другой - отрицательный. Для равномерного распределения электрических зарядов по поверхности кристаллов их тщательно шлифуют, полируют и покрывают металлом.

Если на пьезопластину воздействуют упругие механические колебания (ультразвуковые волны), то на ее электродах возникает переменное электрическое напряжение с частотой действующих на нее ультразвуковых колебаний. Пьезоэффект обратим, т.е. если к пластине, вырезанной из кристалла, подвести переменное напряжение, то она начинает колебаться с частотой подводимого напряжения. Если частота подводимого напряжения выше 20 кГц, то пластинка, колеблясь, будет излучать УЗ волны, причем их направление перпендикулярно поверхности, к которой подводится напряжение. В первом случае это называют прямым, а во втором - обратным пьезоэффектом. Природные кристаллы в УЗ дефектоскопии из-за сложности обработки заменяются искусственными, которые изготавливаются методом прессования и спекания, чаще всего из порошка титаната бария или цирконат титанита свинца [13].

Ультразвук распространяется в однородной среде в виде направленной волны, которая при больших частотах подчиняется законам светового луча, т.е. она отражается, преломляется на границе разнородных сред, испытывает влияние интерференции и дифракции.

Волны отражаются от дефекта только в том случае, если их длина соизмерима с дефектом или больше. В противном случае УЗ-волны огибают небольшую несплошность без существенного отражения. Следовательно, увеличение чувствительности метода требует применения волн возможно меньшей длины [14].

1.10. Радиографический метод неразрушающего контроля

Радиографический метода контроля получил широкое распространение среди методов диагностики. Областью применения метода являются: трубопроводы, металлоконструкции, композитные составы, строительные единицы и многое другое. Радиографический метод неразрушающего контроля регламентируется государственными стандартами, такими как ГОСТ 7512-86.

РК применяется при выявлении таких дефектов как: поры непровары, трещины, подрезы. Метод позволяет оценить геометрию сварного шва и выявляет дефекты внутренней части сварного шва. Сущность метода основана на прохождении рентгеновских лучей через материал изделия или оборудования и воздействии на экран позади шва. Дефекты и несплошности сварного шва снижают способность материала поглощать излучение, следовательно лучи будут в большей степени проявляться на экране.

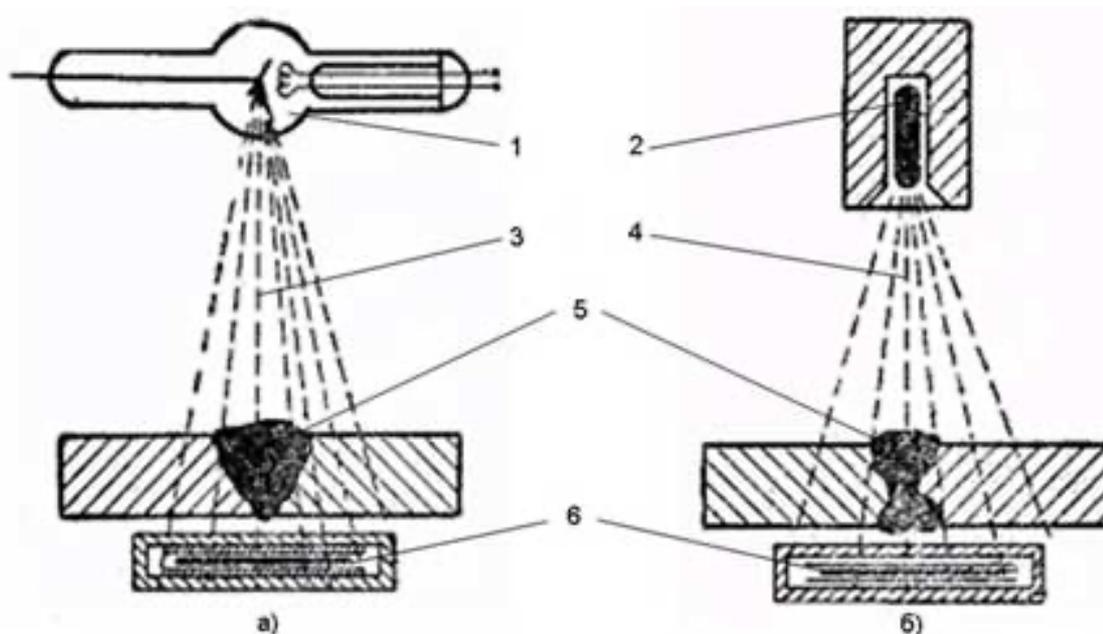


Рисунок 12– Схема радиационного контроля

а – просвечивание сварного шва рентгеновскими лучами

б – просвечивание сварного шва гамма-лучами

1 – рентгеновская трубка; 2 – ампула с радиоактивным веществом в защитном свинцовом кожухе; 3 – рентгеновские лучи; 4 – гамма-лучи;

5 – сварной шов; 6 – кассета с рентгеновской пленкой

Среди материалов радиографического метода основным является радиографическая пленка. В зависимости от диагностируемого оборудования или изделия составляются технические условия и требования к радиографической пленке. В зависимости от толщины металла устанавливаются условия проведения контроля: величина напряжения на рентгеновской трубке, тип и местоположение радиографической пленки, тип и материал усиливающего экрана. Основные типы усиливающих экранов – металлический и флуоресцирующий. Условия проведения контроля соответствуют технической документацией на контроль и приемку сварных соединений.



Рисунок 13 – Основные достоинства радиографического метода неразрушающего контроля

Преимуществом метода является чувствительность к таким видам дефектов как непропай, раковины, окисные включения, вогнутость или выпуклость деформаций корня стыка и т.д. Радиографический метод позволяет получить сведения о точном местоположении дефекта ввиду чего возможно осуществление быстрого ремонта.

Метод с применением рентгеновского излучения с высокой точностью определяет тип и положение дефекта в сварном шве или металле. Данные

диагностики фиксируются и хранятся прибором, а некоторые современные конструкции автоматически расшифровывают результаты анализа.

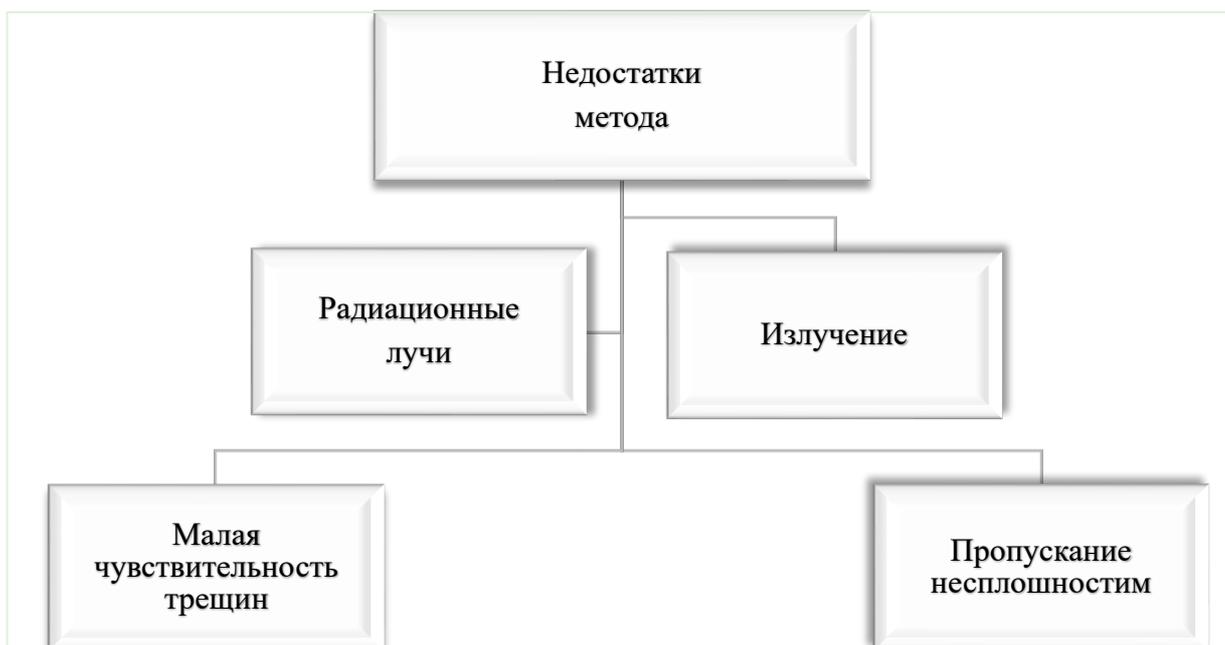


Рисунок 14 – Основные недостатки радиографического метода неразрушающего контроля

Основным недостатком данного метода контроля является вредное воздействие рентгеновских лучей на организм человека. При радиографическом контроле происходит аккумуляция излучений в теле, что, в конечном счете, может привести к лучевой болезни и рака. При работе с источниками ионизирующего излучения строго регламентируются и соблюдаются технологии процесса. Особое внимание уделяется средствами индивидуальной и коллективной защиты. Предприятия, осуществляющие контроль методами рентгенографии подвергаются обязательному лицензированию, а также должны иметь Санитарно-Эпидемиологическое Заключение (СЭЗ) выданные Федеральной службой Роспотребнадзора.

Кроме того, к недостаткам радиографического контроля следует отнести тот факт, что при контроле не выявляются несплошности и включения, с размером в направлении просвечивания менее удвоенной чувствительности контроля, если их изображения на снимках совпадают с изображениями посторонних деталей, острых углов или резких перепадов толщин

просвечиваемого металла, также трещины и непровары, плоскость раскрытия которых не совпадает с направлением просвечивания.

1.10.1. Схема просвечивания радиационным методом

Радиационная дефектоскопия основана на просвечивании объектов ионизирующим излучением с последующей регистрацией и анализом прошедшего излучения различными детекторами. В структурную схему радиационного контроля входят три основных элемента (Рис.14)



Рисунок 15 – Основные элементы радиационного контроля

Дефекты на обратной стороне оборудования или изделия фиксируются изменением интенсивности рентгеновского излучения пересекающего тело металла. При наличии шлаковых включений и пустот ионизирующее излучения проходит интенсивнее, чем в основном металле. Для фиксации результатов радиационного контроля осуществляются снимки, на которых наглядно видно наличие и тип дефектов. Кроме того, интенсивность излучения отображается на экране и фиксируется специальными приборами. Структурная схема радиационного контроля проиллюстрирована на рисунке 15 [17]

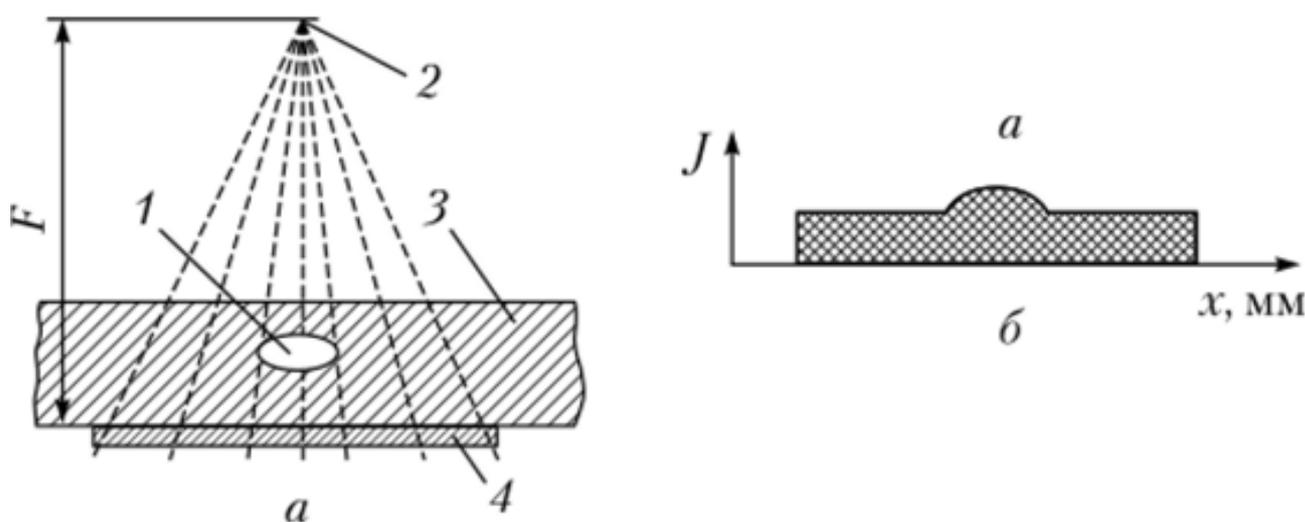


Рисунок 16 – Схема просвечивания сварного соединения (а) и распределение интенсивности излучения I , прошедшего через него (б):

1 – источник излучения; 2 – дефект; 3 – контролируемое соединение; 4 – детектор.

Проходя через вещество изделия, ионизирующее излучение ослабевает, это связано с поглощением и рассеиванием излучения в материале объекта. То насколько ослабнет излучение, зависит от плотности и толщины объекта контроля, а также от энергии самого излучателя. Интенсивность излучения при прохождении его через газовую пору ослабляется меньше, т.к. толщина изделия в этом месте меньше. При прохождении излучения, например, через вольфрамовое включение, возникшее при аргодуговой сварке, интенсивность его резко снижается. Другими словами, излучение, прошедшее за объект контроля, несет в себе информацию о внутренней структуре просвеченного объекта, которая представлена в виде теневого радиационного изображения [16].

На рисунках 16, 17, 18 приведены основные схемы просвечивания сварных соединений (стыковых и угловых) нефтепроводов, технологических и вспомогательных трубопроводов. На рисунках используются следующие обозначения: Ии и Пс – источник излучения и принимающее устройство.

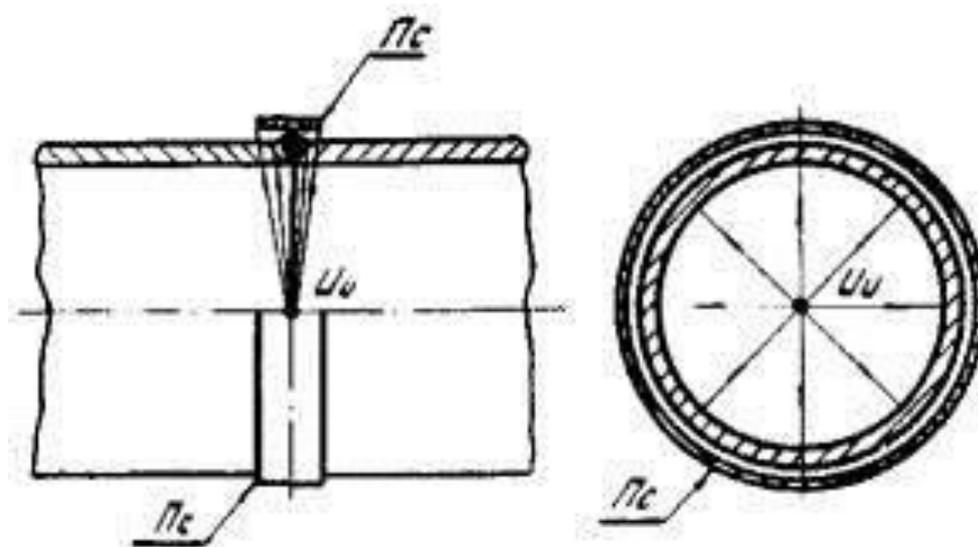


Рисунок 17 – Панорамная схема просвечивания

Кольцевые швы трубопроводов, переходов и трубных узлов (приварки тройников, отводов) просвечивают по одной из четырех схем в зависимости от геометрических размеров труб, типа и активности применяемого источника излучения.

Кольцевые сварные швы свариваемых изделий, в которых возможен свободный доступ внутрь, контролируют за одну установку излучения по схеме, представленной на рисунке 16 (панорамное просвечивание). В дальнейшем нас будет интересовать именно эта схема просвечивания, так как она более актуальна, для решаемых проблем отрасли, озвученных в данной дипломной работе. Для реализации контроля по схеме, показанном на рисунке 17, необходимо наличие возможности запуска кроулера с источником излучения, поэтому этот метод обычно применяется при строительстве трубопровода.

Для оценки сварных швов, доступ к которым есть только с лицевой стороны, подвергаются просвечиванию по схеме на рисунке 17. Такая схема называется фронтальным просвечиванием и осуществляется через две стенки трубы за три и более установки источника ионизирующего излучения.

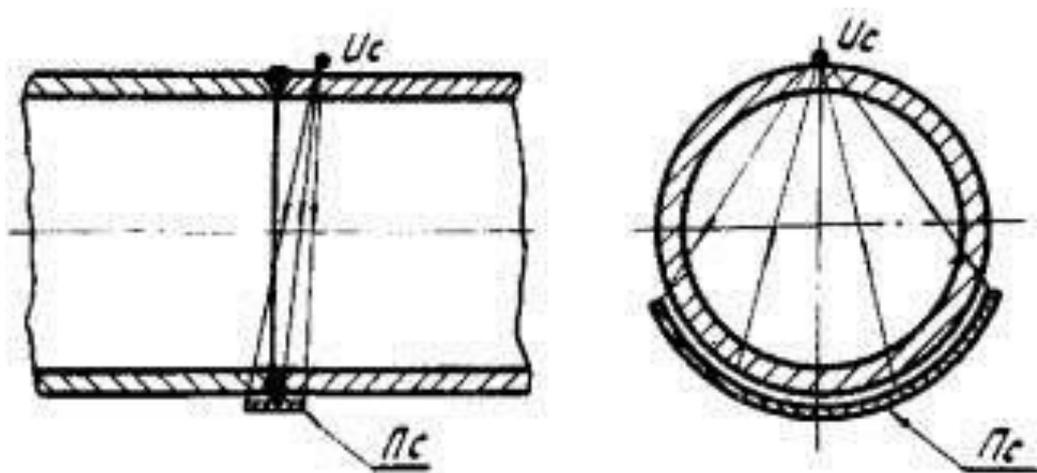


Рисунок 18 – Фронтальная схема просвечивания

На рисунке 18 представлены основные параметры просвечивания по схеме:

- источник излучения располагается непосредственно на трубе
- угол между направлением излучения и плоскостью сварного шва не должен превышать 5°
- фокусное расстояние должно равняться наружному диаметру трубы
- минимальное количество экспозиций равно трём

При каждой экспозиции источник излучения следует смещать на угол не более 120° . По схеме просвечивания «на эллипс» контроль проводят, как правило, за две установки, смещая источник излучения на 90° [17].

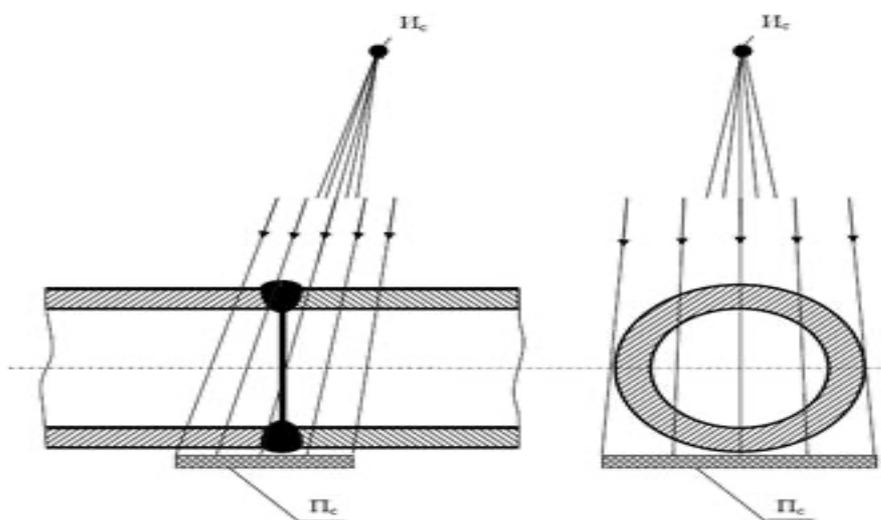


Рисунок 19 – Схема просвечивания «на Эллипс»

Радиографический метод не чувствителен к шероховатости, поэтому не требует предварительной подготовки поверхности. Очистка со шлифованием применяется при затруднениях в проведении анализа при наличии брызг металла (такой дефект может привести к повреждению радиографической пленки). После устранения дефектов сварного шва, выявленных по результатам предшествующего контроля, производят разметку сварного соединения.

Выделяются интервалы сварного шва с отметкой начала отсчета (начало системы координат) и отмечают направление нумерации в определенной последовательности для каждого снимка.

Эталоны чувствительности располагают на каждом интервале, и на каждом снимке эталон должен отображаться в полной мере. Геометрия панорамного просвечивания позволяет уменьшить число необходимых эталонов чувствительности до одного на четверть окружности сварного соединения.

Для измерения глубины дефекта по его потемнению на радиографическом снимке методом визуального или инструментального сравнения с эталонными канавками или отверстиями используют канавочные эталоны чувствительности или имитаторы. При определении чувствительности контроля расчет необходимо вести по той толщине стенки трубы, на которую установлены эталоны чувствительности [18].

Рентгенографический кроулер – это самоходный автоматический комплекс, используемый для контроля качества сварных соединений различных трубопроводов. Является полностью независимым экспонирующим устройством, которое не нуждается в проводной связи и способно принимать команды для перемещения, остановки и снятия рентгенограммы извне при помощи изотопного и магнитного устройств. Как конструкция рентгеновский кроулер представляет собой комплекс, получающий питание от батарей и состоящий из отдельных модулей, предназначенный для проведения контроля труб различных диаметров.

Управление кроулером при помощи внешних управляющих устройств

сведено к минимуму благодаря возможной предварительной настройке, позволяющей приспособить кроулер для работы в любом трубопроводе [19].

Применение в современных устройствах микропроцессорной технологии, обеспечивает возможность высокой производительности, надежности и простоты работы с аппаратом. Размещение внутри трубы позволяет провести контроль кольцевого сварного шва за одну установку, в то время как, используя внешние аппараты необходимо провести от 2 и более, для больших диаметров труб, установок аппарата. Кроме того, используя кроулер нет необходимости переставлять рентгеновскую трубку на каждом сварочном шве, а качество полученного изображения повышается, т.к. просвечивается только одна стенка трубы.

На рисунке 20 схематично изображен чертеж кроулера, расположенного внутри трубопровода, поясняющий принцип его работы.

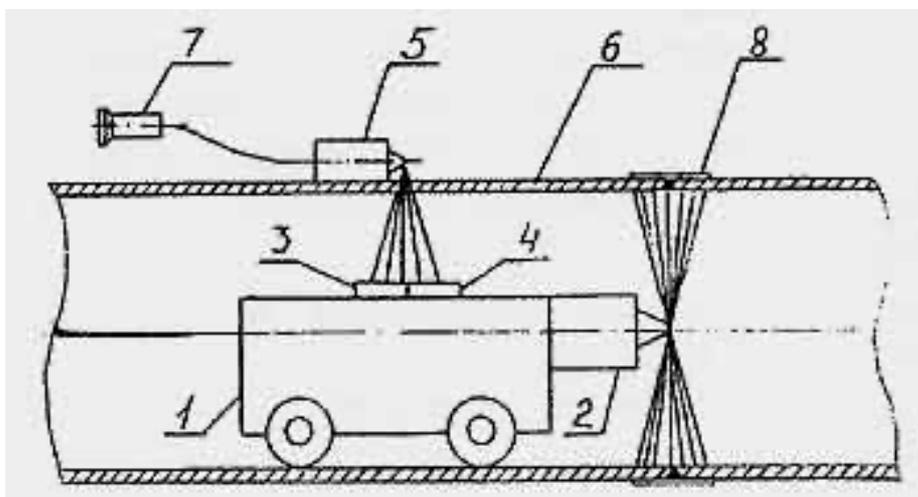


Рисунок 20 – Схема рентгеновского кроулера:

1 – самоходная тележка; 2 – панорамный аппарат; 3, 4 – ионизационные счетчики; 5 – командный аппарат; 6 – труба; 7 – выносной пульт; 8 – приемник излучения.

В качестве приемника проникающего излучения аппарата в кроулере используется два ионизирующих счетчика. Перед началом движения самоходной тележки, включается с помощью выносного пульта командный

аппарат. Благодаря специальному коллиматору он имеет узконаправленную диаграмму излучения строго внутрь трубы. При попадании излучения командного аппарата на детектор 3, гроулер замедляет свое движение, а при срабатывании детектора 4, он останавливается в положении, когда фокус излучения панорамного аппарата находится на линии, перпендикулярной контролируемому шву трубы и рентгеновской пленке [20].

В практике радиационной дефектоскопии нашли применение рентгеновские аппараты двух видов: с постоянной нагрузкой и импульсные. В свою очередь, аппараты с постоянной нагрузкой используются трех типов, которые приведены ниже в таблице 4.

Таблица 4 – Аппараты с постоянной нагрузкой

№	Типы аппаратов с постоянной нагрузкой	Описание
1	аппараты-моноблоки	рентгеновская трубка и трансформатор смонтированы в единый блок-трансформатор, залитые маслом или заполненные газом
2	стационарные аппараты кабельного типа	состоят из самостоятельного генераторного устройства, рентгеновской трубки и пульта управления
3	высокочастотные аппараты	состоят из моноблока, блока питания и пульта управления

Первый тип включает переносные аппараты, позволяющие осуществлять просвечивание по фронтальной схеме и панорамной схемах. Фронтальное просвечивание осуществляется направленным пучком, а панорамное – кольцевым. Наибольшее применение в полевых условиях получило панорамное просвечивание. Источником кольцевых пучков являются рентгеновские трубки с неподвижным анодом и полуволновой схемой питания с выпрямительным высоковольтным диодом. Рентгеновская трубка работает только в течение первого полупериода, а затем в процессе второго полупериода диод запирает ток.

Аппараты 2-го типа выпускались обычно передвижными. Они предназначены для цеховых и лабораторных условий.

В аппаратах кабельного типа применяют рентгеновские трубки с обычным анодом и с вынесенным анодом. В трубках с вынесенным анодом, за счет

дополнительной фокусировки электронного пучка, обеспечиваются малые размеры фокусного пятна, достигающего диаметра 0,3 мм. Это позволяют увеличить четкость снимков. Для питания рентгеновской трубки широко применяется схема двухполупериодного выпрямления: в первый период ток проходит через одну пару вентиля, во второй - через другую. Использование выпрямителей с параллельно включенной емкостью позволяет подавать на трубку сглаженное выпрямленное напряжение. Это способствует получению максимальной выходной мощности излучения [21].

В настоящее время изготавливаются аппараты преимущественно 3-го типа. Она имеют значительно меньшие габариты и вес по сравнению предыдущими типами, но обеспечивают те же радиационные параметры.

В высокочастотных аппаратах на высоковольтный трансформатор подается переменное напряжение с частотой от 1 до 100 кГц. Для передачи мощности на таких частотах уже не требуются магнитопроводы большого сечения, т.к. суммарную мощность за определенный промежуток времени можно передать более мелкими порциями. Габариты и вес аппаратов при этом резко снижаются.

Импульсные аппараты находят применение при контроле качества сварных соединений в полевых условиях в связи с их малой массой и габаритными размерами. Потребляемая мощность аппаратов составляет всего 200- 300 Вт и они могут питаться от малогабаритных аккумуляторов. В импульсных аппаратах применяют специальные рентгеновские трубки, выполненные в виде плоского анода и игольчатого катода, находящегося вблизи анода. Под действием импульса высокого напряжения между острием катода и анодом возникает большая напряженность электрического поля, приводящая к вырыванию (автоэлектронной эмиссии) электронов из катода. Далее идет ускорение электронов и их торможение, как и в трубках с накальным катодом [22].

Для получения высокого напряжения используют импульсную схему с разрядниками и импульсными трансформаторами приведенную на рисунке выше.

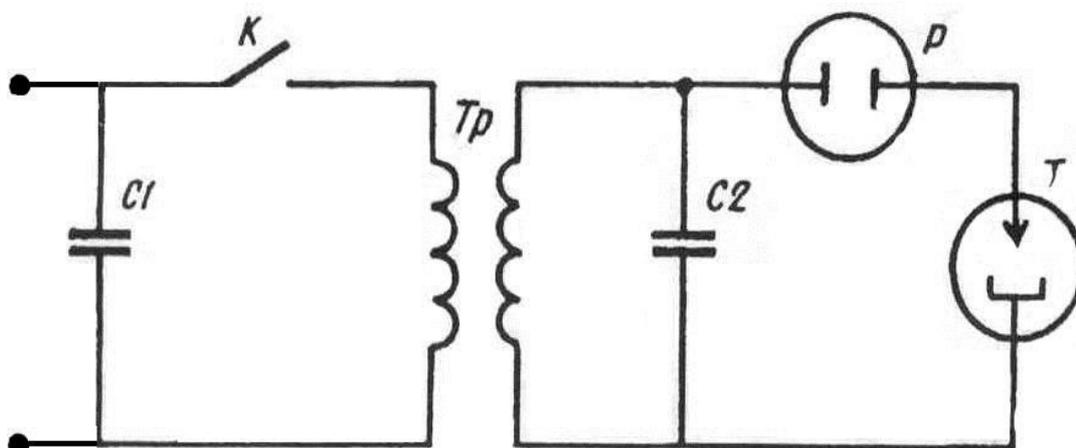


Рисунок 21 – Эквивалентная электрическая схема импульсного рентгеновского аппарата

Радиография - метод получения статического видимого изображения внутренней структуры изделия, просвечиваемого ионизирующим излучением, на рентгеновской пленке или фотобумаге. После проявления на рентгеновской пленке возникает видимое полутонное негативное изображение просвечиваемого объекта, которое затем анализируется на экране негатоскопа. Другой разновидностью этого метода является регистрации радиационного изображения на запоминающих пластинах. Информация с пластин считывается лазерным пучком в специальных сканирующих устройствах и заносится затем в цифровой форме на любой электронный носитель.

На практике радиографический метод получил наибольшее распространение в связи с его простотой и документальным подтверждением получаемых результатов. Используя перечисленные методы, можно просвечивать стальные сварные соединения толщиной 1—500 мм.

Радиоскопия (радиационная интроскопия) - метод получения видимого динамического изображения внутренней структур изделия, просвечиваемого ионизирующим излучением. Не распознаваемое глазом радиационное

изображение объекта контроля, преобразуется в светотеневое изображение с помощью флуороскопического экрана или сцинтилляционного кристалла, которое анализируется глазом или регистрируется с помощью телевизионной камеры. Оцифрованное изображение выводится на экран монитора в режиме реального времени или записывается на электронный носитель. Этот метод обеспечивает проведение неразрушающего радиационного контроля изделий, при перемещении их со скоростью от 0.3 до 1.5 м/сек.

К недостаткам следует отнести конструктивную сложность и стоимость систем контроля и трудности применения таких систем в полевых условиях. В цеховых условиях интроскопы широко применяются на трубных заводах для просвечивания продольных и поперечных сварных швов труб большого диаметра.

Для получения ионизирующего излучения применяют рентгеновские аппараты или явление радиоактивного распада. К примеру, энергия радиоактивного распада применяется в радиоизотопных источниках γ -излучения. Кроме того, применяются нейтроны, полученные в ядерных реакторах или ускорителях.

Радиометрическая дефектоскопия метод получения информации о внутреннем состоянии контролируемого изделия. Сущность радиометрического метода заключается в сканировании объекта коллимированным пучком излучения с последующим преобразованием прошедшего излучения детектором в электрический сигнал. (различной величины, длительности или количества).

Источниками излучения в радиометрическом контроле служат, в основном, радиоактивные источники. Для регистрации излучения могут быть использованы ионизационные камеры, газоразрядные счетчики, полупроводниковые и сцинтилляционные детекторы, сцинтилляционные детекторы получили наибольшее распространение благодаря высокой эффективности и большому быстродействию. При использовании сцинтилляционного детектора узкий пучок излучения, прошедший контролируемый объект, попадает на сцинтиллятор, состыкованный с

фотокатодом фотоэлектронного умножителя (ФЭУ). Поглощенная часть энергии фотона ионизирующего излучения преобразуется сцинтиллятором в световую вспышку, которая с помощью ФЭУ преобразуется в электрический сигнал. Регистрирующими устройствами могут быть показывающие приборы (счетчики импульсов, осциллографы, миллиамперметры), самописцы или различные электронные приборы. Благодаря высокому коэффициенту усиления фотоэлектронного умножителя и его малой инерционности чувствительность радиометрического метода составляет доли процента.

Этот метод получил широкое применение для бесконтактного автоматического контроля толщины листового проката. При использовании обратно рассеянного рентгеновского излучения радиометрические метод используется для измерения толщины различных покрытий материалов. Путем анализа спектрального распределения характеристического излучения, возникающего в результате взаимодействия первичного рентгеновского излучения с материалом покрытия и подложки производятся следующие виды измерений, которые приведены в таблице 5.

Таблица 5 – измерения рентгеновского излучения при взаимодействии с материалом покрытия

№	Вид измерения	Материал покрытия
1	измерение толщины покрытия из драгоценных металлов, наносимых на подложку из стали, цветных металлов, керамики	золото, серебро, платина
2	измерение толщины покрытий из металлов общей группы	олово, цинк, медь, кадмий, железа и т.д.

Радиометрический метод обеспечивает возможность автоматизации процесса контроля и осуществления автоматической обратной связи контроля и корректировки технологического процесса изготовления изделий [23].

2. РАСЧЕТ И АНАЛИЗ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ МЕХАНИЗМА ОРБИТАЛЬНОГО ПЕРЕМЕЩЕНИЯ

Введение

Разработка конструкции машин, направленных на создание наилучших доступных технологий, должна осуществляться с целью получения экономического эффекта и ресурсоэффективности.

Основные требования, предъявляемые к создаваемой машине: высокая производительность, надежность. Технологичность, ремонтпригодность, минимальные габариты и масса, удобство эксплуатации, экономичность, техническая эстетика. Все эти требования учитывают в процессе проектирования и конструирования.

Проектирование – это разработка общей конструкции изделия.

Конструирование – это дальнейшая детальная разработка всех вопросов, связанных с воплощением принципиальной схемы в реальную конструкцию.

Данный расчет включает в себя анализ назначения и условий работы проектируемых деталей, наиболее рациональные конструктивные решения с учетом технологических, монтажных, эксплуатационных и экономических требований, кинематические расчеты, определение сил, действующих на детали и узлы, расчеты конструкций на прочность, выбор материалов, процесс сборки и разборки конструкций и многое другое.

Основные задачи расчета:

1. Овладеть техникой разработки конструкторских документов на различных стадиях проектирования.
2. Приобрести навыки самостоятельного решения инженерно-технических задач.
3. Научиться работать со стандартами, различной инженерной, учебной, и справочной литературой (каталогами, атласами, Классификатором ЕСКД).

2.1. Разработка расчетной схемы

В данной силовой схеме учтены следующие составляющие:

T_1, T_2 – силы натяжения цепи;

$G_{\text{тел}}, G_{\text{дв}}$ – силы тяжести тележки и двигателя;

N_1, N_2 – силы реакции опор катков;

$F_{\text{пр}}$ – сила упругости пружины.

Для упрощения расчетов принимаем цепи нерастяжимыми. В этом случае величина деформации пружины не меняется и, соответственно, сила упругости пружины тоже постоянная $F_{\text{пр}} = \text{const}$.

2.2. Оценка нагрузок, действующих на тележку в положении равновесия

2.3. Численное моделирование

2.4. Анализ результатов

3. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ, РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

Введение

В данной работе рассмотрена применимость конструкции крепления рентгенографического приемника ионизирующего излучения с применением системы орбитального перемещения с промежуточной опорной поверхностью, используемого для контроля качества кольцевых сварных швов магистральных трубопроводов.

Для инженерной разработки очень важным параметром является её коммерческая ценность, которая объединяет в себя множество факторов и позволяет инвесторам оценить перспективность разработки, не углубляясь в её суть. Оценка коммерческой ценности разработки является необходимым условием при поиске источников финансирования.

Таким образом, целью раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» является проектирование и создание конкурентоспособных разработок, технологий, отвечающих

современным требованиям в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения.

Достижение цели обеспечивается решением задач:

- оценить коммерческой потенциал и перспективность проведения научных исследований;
- определить возможные альтернативы проведению научных исследований, отвечающих современным требованиям в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения;
- спланировать исследовательскую работу;
- произвести расчет характеристик механизма.

Продукт: Механизм орбитального перемещения

Целевой рынок: нефтяные и газовые компании.



Рисунок 37 – Модель механизма орбитального перемещения

В различных исследованиях механизм орбитального перемещения необходим в основном крупным компаниям, так как он прост в сборке и обслуживании.

3D модель имеет не мало важную роль для конструирования, так как при создании трехмерной модели, в специальных программах, типа ПК «ANSYS Workbench», можно смоделировать отклонение от нормативных значений и посмотреть, как она будет вести себя в рабочем режиме, где будут максимальные нагрузки. На основе расчетов и трехмерной модели ведется конструирование, учитываются все просчеты.

3.1. Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

Детальный анализ конкурирующих разработок, существующих на рынке, необходимо проводить систематически, поскольку рынки пребывают в постоянном движении. Такой анализ помогает вносить коррективы в научное исследование, чтобы успешнее противостоять своим соперникам. Важно реалистично оценить сильные и слабые стороны разработок конкурентов. Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения позволяет провести оценку сравнительной эффективности научной разработки и определить направления для ее будущего повышения. Целесообразно проводить данный анализ с помощью оценочной карты.

Таблица 7 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		БФ	Бк1	Бк2	Кф	Кк1	Кк2
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Необходимость расходных материалов	0,11	5	0	3	0,55	0	0,33
2. Скорость контроля	0,08	4	3	3	0,32	0,24	0,24
3. Чувствительность контроля	0,07	5	4	3	0,35	0,28	0,21
4. Требуемый уровень квалификации работников	0,04	5	3	2	0,2	0,12	0,08
5. Уровень автоматизации	0,08	5	0	0	0,4	0	0
6. Широта рабочих температур	0,05	2	4	4	0,1	0,2	0,2
7. Простота изготовления	0,04	2	5	2	0,08	0,1	0,08
8. Защита от коррозии	0,03	3	5	4	0,09	0,15	0,12
Экономические критерии оценки эффективности							
1. Конкурентоспособность	0,04	5	5	3	0,2	0,2	0,12

2. Уровень проникновения на рынок	0,05	2	5	3	0,1	0,25	0,15
3. Цена	0,11	4	2	3	0,44	0,22	0,33
4. Предполагаемый срок эксплуатации	0,11	5	0	4	0,55	0	0,44
5. Возможность применения в других областях	0,03	3	3	3	0,09	0,09	0,09
6. Потребность в ТО	0,04	2	5	2	0,08	0,2	0,08
7. Уровень доверия потребителей	0,04	2	5	3	0,08	0,2	0,12
8. Безотходность	0,08	5	2	5	0,4	0,16	0,4
Итого	1	59	51	47	4,02	2,41	2,99

Б_ф – проведение контроля с использованием цифровой рентгенографии;

Б_{к1} – с использованием рентгеновских пленок;

Б_{к2} – ультразвуковой метод.

В результате анализа существующих методов контроля сварных соединений, можно сделать вывод о том, что целесообразно использовать метод цифровой рентгенографии, с применением орбитального перемещения детектора. Предлагаемое устройство более сложное в изготовлении, однако данная технология превосходит аналоги по ряду признаков многие другие, она позволит значительно ускорить процесс проведения работ, повысить его чувствительность и компенсировать первоначальную стоимость закупки отсутствием необходимости в расходных материалах и сроками службы [27].

3.2. Планирование научно-исследовательских работ

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

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

Для выполнения научных исследований формируется рабочая группа, в состав которой могут входить научные сотрудники и преподаватели, инженеры,

техники и лаборанты, численность групп может варьироваться. По каждому виду запланированных работ устанавливается соответствующая должность исполнителей. В данном разделе необходимо составить перечень этапов и работ в рамках проведения научного исследования, провести распределение исполнителей по видам работ. Примерный порядок составления этапов и работ, распределение исполнителей по данным видам работ приведен в таблице 8.

Таблица 8 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителей
Выбор темы исследования	1	Календарное планирование работ по теме	Руководитель, исполнитель
	2	Выбор алгоритма исследования	Руководитель
	3	Подбор и изучение литературы по теме	Исполнитель
Разработка тех. задания	4	Составление и утверждение тех. задания	Руководитель
Теоретические и экспериментальные исследования	5	Проведение теоретических расчетов и обоснование	Исполнитель
	6	Проектирование модели и проведение экспериментов	Исполнитель
Обобщение результатов расчета	7	Оценка результатов исследования	Руководитель, исполнитель
Оформление отчета по исследовательской работе	8	Составление пояснительной записки	Руководитель, исполнитель

3.3. Определение трудоемкости выполнения работ

Трудовые затраты в большинстве случаев образуют основную часть стоимости разработки, поэтому важным моментом является определение трудоемкости работ каждого из участников научного исследования. Трудоемкость выполнения научного исследования оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, т.к. зависит от множества трудно учитываемых факторов. Для определения, ожидаемого (среднего) значения трудоемкости $t_{ожц}$ используется следующая формула:

$$t_{ожі} = \frac{3t_{\min i} + 2t_{\max i}}{5}, \quad (1)$$

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

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

$t_{\max i}$ – 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%.

$$T_{pi} = \frac{t_{ожі}}{Ч_i}, \quad (2)$$

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 1 работы – проектирование модели и проведение экспериментов:

$$t_{ожі} = \frac{3t_{\min i} + 2t_{\max i}}{5} = \frac{3 \cdot 2 + 2 \cdot 7}{5} = 4 \text{ чел. -дн}; \quad (3)$$

$$T_{pi} = \frac{t_{ожі}}{Ч_i} = \frac{4}{1} = 4 \text{ дн} \quad (4)$$

3.4. 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 (таблица 9).

Таблица 9 – Календарный план-график проведения НИОКР по теме

№ раб	Вид работ	Исполнитель	Т _{кi} , кал. дн.	Продолжительность выполнения работ												
				февраль			март			апрель			май			
1	Составление и утверждение технического задания	Р, И	3	■												
2	Подбор и изучение материалов по теме	И	3		■											
3	Выбор направления исследований	И	15			■										
4	Календарное планирование работ по теме	Р, И	7				■									
5	Проведение теоретических расчетов и обоснований	И	15					■								
6	Расчёт коридора эпюр напоров	И	13						■							
7	Построение зависимости минимальной потребляемой станцией мощности	И	3							■						
8	Расчет оптимального режима перекачки	И	3								■					
9	Формирование режимов для всех магистральных нефтеперекачивающих станций	Р, И	7									■				
10	Сопоставление результатов с теоретическими	И	10										■			

№ раб	Вид работ	Исполнитель	Т _{кi} , кал. дн.	Продолжительность выполнения работ												
				февраль				март				апрель				май
	исследованиями															
11	Определение экономической целесообразности исследовательской работы	И	5													

-  Руководитель
-  Исполнитель

3.5. Бюджет научного-технического исследования

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

- материальные затраты;
- заработная плата исполнителей;
- амортизационные отчисления;
- отчисления во внебюджетные фонды;
- накладные расходы.

Материальные затраты и затраты на специальное оборудование в данном техническом исследовании отсутствуют в связи с тем, что изготовление опытного образца не производится.

Для него проведения исследования необходимо использование компьютера с установленным специальным программным обеспечением.

Затраты на покупку компьютера и специального программного обеспечения:

$$З = d_k + d_{по} = 35000 + 14000 = 49000 \quad (5)$$

где d_k – стоимость компьютера, руб.;

$d_{по}$ – стоимость программного обеспечения, руб.

Установка специальных программ для исследования и моделирования объекта производится бесплатно.

3.5.1. Основная заработная плата

В данную статью включается основная заработная плата научных и инженерно-технических работников, а также рабочих опытных производств, непосредственно участвующих в выполнении работ по данной теме. Величина расходов по заработной плате определяется на основе трудоемкости выполняемых работ и действующей системы тарифных ставок и окладов. В состав основной заработной платы включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы в размере 20 – 30 % от тарифа или оклада (таблица 10).

Таблица 10 – Основная заработная плата, тыс.руб.

Наименование работ	Исполнители	Трудоемкость, чел.-дн.			ЗП 1, чел.-дн.	Всего ЗП по тарифу		
		Исп.1	Исп.2	Исп.3		Исп.1	Исп.2	Исп.3
Календарное планирование работ по теме	Р, И	2	3	2	1,16	2,32	3,48	2,32
Выбор алгоритма исследования	Р	7	9	8	0,93	6,51	8,37	7,44
Подбор и изучение литературы по теме	И	2	2	2	0,93	1,86	1,86	1,86
Составление и утверждение тех. задания	Р	12	12	12	0,23	2,76	2,76	2,76
Проведение теоретических расчетов и обоснование	И	8	9	9	0,23	1,84	2,07	2,07
Проектирование модели и проведение экспериментов	И	6	9	8	0,23	1,38	2,07	1,84

Наименование работ	Исполнители	Трудоемкость, чел.-дн.			ЗП 1, чел.-дн.	Всего ЗП по тарифу		
		Исп.1	Исп.2	Исп.3		Исп.1	Исп.2	Исп.3
Оценка результатов исследования	Р, И	4	5	6	1,16	4,64	5,8	6,96
Составление пояснительной записки	Р, И	5	5	5	1,16	5,8	5,8	5,8
Итого:						27,1	32,21	31,05

Р – руководитель, И – исполнитель.

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

$$C_{зп} = Z_{осн} \times Z_{доп}, \quad (7)$$

Где $Z_{осн}$, $Z_{доп}$ – основная и дополнительная заработная плата;

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

$$Z_{осн} = Z_{дн} \times T_{раб}, \quad (8)$$

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

$T_{р}$ – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн.;

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

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{дн} = \frac{Z_{м} \cdot M}{F_{д}} = \frac{51413 \cdot 10,4}{202} = 2647, \quad (9)$$

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

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

- при отпуске в 24 раб. дня $M = 11,2$ месяца, 5 – дневная неделя;

- при отпуске в 48 раб. дней $M = 10,4$ месяца, 6 – дневная неделя.

F_d – действительный годовой фонд рабочего времени научно – технического персонала, раб. дн. (таблица 11).

Таблица 11 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Исполнитель
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней		
– выходные дни	118	118
– праздничные дни		
Потери рабочего времени		
– отпуск	62	72
– невыходы по болезни		
Действительный годовой фонд рабочего времени	185	175

Месячный должностной оклад работника:

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

$$Z_m = Z_{тс} \cdot (1 + k_{пр} + k_d) \cdot k_p = 23264 \cdot (1 + 0,3 + 0,4) \cdot 1,3 = 51413 \quad (10)$$

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

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

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

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

За основу оклада берется ставка работника ТПУ, согласно занимаемой должности. Из таблицы окладов для доцента (степень – кандидат наук) – 23264 руб., для ассистента (степень отсутствует) – 14584 руб. (таблица 12, 13, 14).

Таблица 12 – Расчет основной заработной платы для исполнения 1

Исполнители	$Z_{тс}$, тыс. руб.	$k_{пр}$	k_d	k_p	Z_m , тыс. руб.	$Z_{дн}$, тыс. руб.	T_p , раб. дн.	$Z_{осн}$, тыс. руб.

Руководитель	23264	0,3	0,4	1,3	51413	2,674	20	53,48
Исполнитель	14584	0	0	1,3	18959	1,126	37	41,66
Итого								95,14

Таблица 13 – Расчет основной заработной платы для исполнения 2

Исполнители	З _{тс} , тыс. руб.	k _{пр}	k _д	k _р	З _м , тыс. руб.	З _{дн} , тыс. руб.	T _р , раб. дн.	З _{осн} , тыс. руб.
Руководитель	23264	0,3	0,4	1,3	51413	2,674	24	64,18
Исполнитель	14584	0	0	1,3	18959	1,126	43	48,41
Итого								112,59

Таблица 14 – Расчет основной заработной платы для исполнения 3

Исполнители	З _{тс} , тыс. руб.	k _{пр}	k _д	k _р	З _м , тыс. руб.	З _{дн} , тыс. руб.	T _р , раб. дн.	З _{осн} , тыс. руб.
Руководитель	23264	0,3	0,4	1,3	51413	2,674	28	74,87
Исполнитель	14584	0	0	1,3	18959	1,126	49	55,17
Итого								130,04

3.5.2. Дополнительная заработная плата исполнителей тем

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

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$Z_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot Z_{\text{осн}} = 0,13 \cdot 53480 = 6952 \quad (11)$$

$$Z_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot Z_{\text{осн}} = 0,13 \cdot 41660 = 5416 \quad (12)$$

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

$k_{\text{доп}}$ – коэффициент дополнительной зарплаты;

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

Для исполнения 2 расчет дополнительной заработной платы составит:

$$З_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot З_{\text{осн}} = 0,13 \cdot 64180 = 8343 \quad (13)$$

Для исполнения 3 расчет дополнительной заработной платы составит:

$$З_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot З_{\text{осн}} = 0,13 \cdot 48410 = 6293 \quad (14)$$

Отчисления во внебюджетные фонды

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

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$\text{где } k_{\text{внеб}} = 30\% \text{ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные} \\ З_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}}) = 0,30 \cdot (53480 + 6952) = 16377 \quad (15)$$

фонды (пенсионный фонд – 22%, фонд обязательного медицинского – 5,1% и социального – 2,9 % страхования, страхование от несчастных случаев – 0,2 %), в соответствии со статьей 425 НК РФ.

Отчисления во внебюджетные фонды рекомендуется представлять в табличной форме (таблица 15).

Таблица 15 – Отчисления на социальные нужды

Исполнитель	Основная ЗП, тыс. руб.			Дополнительная ЗП, тыс. руб.		
	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3
Руководитель	53,480	61,180	74,870	6,952	8,343	9,733
Исполнитель проекта	41,660	48,410	55,170	5,416	6,293	7,172

Исполнитель	Основная ЗП, тыс. руб.			Дополнительная ЗП, тыс. руб.		
	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3
Норматив отчислений во внебюджетные фонды, %	30					
Страхование от несчастных случаев, %	0,2					
Итого						
Исполнение 1	Исполнение 2			Исполнение 3		
28,732	33,096			39,272		

3.5.3. Прочие расходы

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

Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Рассчитанная величина затрат научно-исследовательской работы (темы) является основой для формирования бюджета затрат проекта, который при формировании договора с заказчиком защищается научной организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку научно-технической продукции (таблица 16).

Таблица 16 – Расчет бюджета затрат НТИ

Наименование статьи	Сумма, руб.		
	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3
Материальные затраты НТИ	950000	1350000	1300000
Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	95140	112590	130040
Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	12368	14636	16905
Отчисления во внебюджетные фонды	29134	34478	39822
Затраты на покупку компьютера	28000	28000	28000
Накладные расходы	24000	24000	24000
Бюджет затрат НТИ	1138462	1563704	1538767

3.6. 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 двух вариантов исполнения научного исследования.

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:

$$I_{\Phi}^{\rho} = \frac{\Phi_{\rho i}}{\Phi_{\text{мак}}}, \quad (16)$$

где I_{Φ}^{ρ} – интегральный финансовый показатель разработки;

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

$\Phi_{\rho i}$ – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта (в т.ч. аналогии)

Для первого варианта исполнения имеем:

$$I_{\Phi}^{\rho} = \frac{\Phi_{\rho i}}{\Phi_{\text{мак}}} = \frac{1138642}{1563704} = 0,728 \quad (17)$$

Для второго варианта исполнения имеем:

$$I_{\Phi}^{\rho} = \frac{\Phi_{\rho i}}{\Phi_{\text{мак}}} = \frac{1563704}{1563704} = 1 \quad (18)$$

Для третьего варианта исполнения имеем:

$$I_{\Phi}^{\rho} = \frac{\Phi_{\rho i}}{\Phi_{\text{мак}}} = \frac{1538767}{1563704} = 0.984 \quad (19)$$

Полученная величина интегрального финансового показателя

разработки отражает соответствующее численное удешевление стоимости разработки в размах (значение больше единицы), либо соответствующее численное удешевление стоимости разработки в размах (значение меньше единицы, но больше нуля).

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

$$I_m^a = \sum_{i=1}^n a_i \times b_i^a \quad (20)$$

где I_m – интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов;

a_i – весовой коэффициент i -го параметра;

b_i^a, b_i^p – балльная оценка i -го параметра для аналога и разработки,

устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

n – число параметров сравнения.

$$I_1^A = 5 \times 0,1 + 4 \times 0,15 + 5 \times 0,15 + 5 \times 0,2 + 4 \times 0,25 + 5 \times 0,15 = 4,58 \quad (21)$$

$$I_2^A = 4 \times 0,1 + 3 \times 0,15 + 3 \times 0,15 + 3 \times 0,2 + 4 \times 0,25 + 4 \times 0,15 = 3,05 \quad (22)$$

$$I_3^A = 4 \times 0,1 + 4 \times 0,15 + 3 \times 0,15 + 5 \times 0,2 + 4 \times 0,25 + 3 \times 0,15 = 4,01 \quad (23)$$

Таблица 17 – Сравнительная оценка характеристик проекта

Критерии	Весовой коэф.	Тележка на магнитных колесах	Каретка с промежуточно й опорной поверхностью	Цепной механизм
Простота конструкции	0,15	5	4	4
Универсальность использования	0,15	3	5	4
Надежность	0,15	4	4	4
Легкость установки	0,20	5	5	4
Скорость контроля	0,15	3	5	4
Срок службы	0,20	5	5	3

Критерии	Весовой коэф.	Тележка на магнитных колесах	Каретка с промежуточно й опорной поверхностью	Цепной механизм
Итого	1	4,58	3,05	4,01

Интегральный показатель эффективности разработки ($I_{\text{финр}}^p$) и аналога ($I_{\text{финр}}^a$) определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{\text{финр}}^p = \frac{I_m^p}{I_{\phi}^p} = \frac{4,58}{0,728} = 6,31, \quad (24)$$

$$I_{\text{финр}}^{a1} = \frac{I_m^{a1}}{I_{\phi}^{a1}} = \frac{3,05}{1} = 3,05, \quad (25)$$

$$I_{\text{финр}}^{a2} = \frac{I_m^{a2}}{I_{\phi}^{a2}} = \frac{4,01}{0,984} = 4,07, \quad (26)$$

Сравнение интегрального показателя эффективности текущего проекта и аналогов позволит определить сравнительную эффективность проекта.

Сравнительная эффективность проекта (таблица 18):

$$\mathcal{E}_{\text{ср1}} = \frac{I_{\text{финр}}^p}{I_{\text{финр}}^{a1}} = \frac{6,31}{4,58} = 1,37, \quad (27)$$

$$\mathcal{E}_{\text{ср2}} = \frac{I_{\text{финр}}^p}{I_{\text{финр}}^{a2}} = \frac{3,05}{3,05} = 1 \quad (28)$$

$$\mathcal{E}_{\text{ср3}} = \frac{I_{\text{финр}}^p}{I_{\text{финр}}^{a2}} = \frac{6,31}{4,07} = 1,55, \quad (29)$$

где $\mathcal{E}_{\text{ср}}$ – сравнительная эффективность проекта;

$I_{m\varepsilon}^p$ – интегральный показатель разработки;

$I_{m\varepsilon}^a$ – интегральный технико–экономический показатель аналога.

Таблица 18 – Сравнительная эффективность разработки

Показатели	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3
------------	--------	--------	--------

Интегральный финансовый показатель разработки	0,728	1	0,984
Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,58	3,05	4,01
Интегральный показатель эффективности	6,31	3,05	4,07
Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1,37	1	1,55

3.7. Техническое диагностирование

Для проведения исследования будет проводиться техническая диагностика участка магистрального трубопровода. Кроме того, данный расчет необходим для того, чтобы определить и обосновать в дальнейшем на каком этапе возможно сокращение затрат на проведение технического диагностирования.

Проведение технического диагностирования является неотъемлемой частью экспертизы промышленной безопасности, которая позволяет определить техническое состояние трубопровода, а также оценить возможности, условия и сроки для продолжения его эксплуатации. Так как строительство новой магистрали является длительным и финансово затратным процессом, то возможность продления срока эксплуатации сооружения (трубопровода) является альтернативным решением данной проблемы.

Для определения оптимальных экономических затрат на проведение технического диагностирования, проведем анализ всех видов работ с учетом норм времени и себестоимости на их выполнение, а также произведем расчет стоимости всего комплекса работ

3.7.1. Расчет норм времени на выполнение работ при техническом диагностировании оборудования, сооружений и трубопроводов.

Норму времени на выполнение работы при техническом диагностировании оборудования, сооружений и трубопроводов в наиболее распространенных условиях (Н), чел.-ч, определяют по формуле:

$$H = T_{\text{оп}}(1 + K_{\text{п.з.}} + K_{\text{от.}}), \quad (32)$$

где $T_{оп.}$ – оперативное время, чел.-ч;

$K_{п.з.}$ – коэффициент, учитывающий время на подготовительно-заключительные работы и обслуживание рабочего места (принимается по фотохронометражным наблюдениям), $K_{п.з.} = 0,07$;

$K_{от.}$ – коэффициент, учитывающий время на отдых и личные надобности в соответствии с методическими рекомендациями «Определение нормативов на отдых и личные надобности», $K_{от.} = 0,1$.

Норму времени на выполнение работы при диагностировании в особых условиях ($N_{ос.ус.}$), чел.-ч, определяют по формуле:

$$N_{ос.ус.} = N \times K_{ус.} \times K_{тр.}, \quad (33)$$

где $K_{ус.}$ – поправочный коэффициент, учитывающий особые условия работы. Величины $K_{ус.}$ приведены в таблице 15.

$K_{тр.}$ – поправочный коэффициент, учитывающий транспортные затраты. Величины $K_{тр.}$ приведены в таблице 19.

Таблица 19 – Значение поправочного коэффициента $K_{ус.}$

Условия выполнения работ	Величина поправочного коэффициента
1. Выполнение работ с применением монтажного пояса	1,25
2. Выполнение работ в закрытых сосудах, аппаратах, резервуарах	2,00
3. Выполнение работ на действующих производствах с вредными условиями труда	1,25
4. Выполнение работ в зимнее время на открытом воздухе. Температура воздуха на рабочем месте отрицательная, °С :	
от 0 до минус 10	1,10
от минус 10 до минус 20	1,15
от минус 20 до минус 30	1,20
от минус 30 до минус 40	1,25
ниже минус 40	1,30
5. Выполнение работ в стесненном положении (на высоте, в углублениях)	1,10
6. Техническое диагностирование оборудования, имеющего налет (повышенную коррозию, грязь) свыше 3 мм	1,20
7. Выполнение работ в специальной одежде, с вентиляцией или применением химических реагентов, в шланговом противогазе	1,30
8. Выполнение работ на грузоподъемных машинах с пролетом более 25 м, за каждые 5 м	1,05
9. Выполнение работ на стреле башенного крана с решетчатой конструкцией	1,10

Таблица 20 – Значение поправочного коэффициента $K_{тр}$

Удаленность объектов от центральных баз производственного обслуживания, км	Величина поправочного коэффициента
0-50	1,10
50-100	1.15
100-150	1,20
150-200 и более	1,40

3.7.2. Расчет стоимости работ при техническом диагностировании оборудования, сооружений и трубопроводов

Комплекс работ при полном техническом диагностировании включает:

1. Анализ документации;
2. Визуальный и измерительный контроль;
3. Контроль неразрушающими методами;
4. Контроль толщины стенок основных элементов неразрушающим методом (ультразвуковая толщинометрия);
5. Измерение твердости основных элементов;
6. Расчет на прочность;
7. Гидравлические испытания на прочность и герметичность;
8. Расчет остаточного ресурса;
9. Анализ результатов контроля и расчетов;
10. Составление технического заключения о возможности дальнейшей эксплуатации оборудования.

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

$$Ц = С \times K_{ус} \times K_{тр} \times K_{р.к} + П, \quad (34)$$

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

$K_{р.к}$ – поправочный коэффициент, зависящий от районного коэффициента к заработной плате. Величины $K_{р.к}$ приведены в таблице 21.

П – плановая прибыль, руб.

Таблица 21 – Значение поправочного коэффициента $K_{p.k.}$

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

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

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

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

Фонд заработной платы рассчитывают по нормативам времени, установленными в Единых нормах времени в зависимости от перечня

планируемых для выполнения работ и часовой тарифной ставки специалистов по техническому диагностированию.

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

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

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

3.7.3. Расчет технического диагностирования трубопроводов

Исходные данные:

Участок магистрального трубопровода длиной 10000 м, предназначен для транспортировки нефтепродуктов (расчетное давление 1,6 МПа);

- внутренний диаметр обечайки – 702 мм;
- длина обечайки - 720 мм;
- толщина стенки обечайки – 12 мм;
- диаметр патрубков – 150; 500 мм;
- количество поясов обечайки – $n = 7$ шт.;
- количество патрубков – $m = 6$ шт.;
- общая длина сварных швов $L = 3000$ м;
- площадь наружной поверхности трубопровода $F = 22608$ м²;
- плановая прибыль (П) - 25% от себестоимости работ;
- районный коэффициент к заработной плате – 1,3.

Техническое освидетельствование производится на расстоянии 120 км от центральной базы производственного обслуживания в летнее время.

1. Анализ документации:

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

Себестоимость работ при анализе документации:

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

2. Визуальный и измерительный контроль:

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

$$C_1^{в.и.} = C_1^A \times L = 12,90 \times 3000 = 38700 \text{ руб.}$$

где C_1^A – себестоимость 1 м шва;

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

$$C_2^{в.и.} = C_1^A \times L \times K_{ус.} = 12,90 \cdot 3000 \cdot 2 = 77400 \text{ руб.};$$

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

$$C_3^{в.и.} = C_2^A \times F = 12,90 \times 22608 = 291643,2 \text{ руб.}$$

где C_2^A – себестоимость осмотра 1 м² основного металла;

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

$$C_4^{в.и.} = C_2^A \times F \times K_{yc.} = 12,90 \times 226080 \times 2 = 583286,4 \text{ руб.}$$

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

$$C^{в.и.} = \sum C_n^{в.и.} = 38700 + 77400 + 291643,2 + 583286,4 = 991029,6 \text{ руб.};$$

3. Контроль неразрушающими методами.

Акустико-эмиссионный контроль (типа «Эксперт – 2010»)

$$C_1^{н.м.} = C_1^{а.э.} \times n = 56341 \text{ руб.}$$

где $C_1^{а.э.}$ – себестоимость работ при акустико-эмиссионном контроле (сосуда, работающего под давлением $V \leq 20000 \text{ м}^3$); n – количество сосудов

Контроль сплошности сварных соединений и зон основного материала элементов производится методом ультразвуковой и магнитопорошковой дефектоскопии.

Контролю подвергаются продольные сварные швы и зоны пересечения кольцевых швов с поперечными швами. Ультразвуковой дефектоскопии подвергаются сварные швы длиной 50 % от общей длины сварных швов, $L = 1500 \text{ м}$.

В состав работ входит:

- зачистка поверхности под контроль до шероховатости $Rz 40$ зоны шириной 50 мм, себестоимость:

$$C_2^{н.м.} = C_1^3 \times L = 234,38 \cdot 1500 = 351570 \text{ руб.}$$

где C_1^3 – себестоимость 1 м зачистки поверхности;

- ультразвуковая дефектоскопия продольных сварных швов, себестоимость:

$$C_3^{н.м.} = C_1^{у.д.} \times L = 257,79 \times 1500 = 386685 \text{ руб.}$$

где $C_1^{у.д.}$ – себестоимость 1 м контроля сварных соединений;

Контроль методом ультразвуковой дефектоскопии выбран по экономическим соображениям, так как себестоимость работ при

рентгенографическом контроле (альтернативном) за 1 м контроля сварного соединения составляет $C^{p.k.} = 386,69$ руб.

- магнитопорошковая дефектоскопия пересечения кольцевых и продольных сварных швов (по 250 мм в каждую сторону):

$$C_4^{н.м.} = C_1^{м.д.} \times F = 402,09 \times 22608 = 9090450,7 \text{ руб.}$$

где $C_1^{м.д.}$ – себестоимость 1 м² работ;

F – площадь для выполнения работ

Контроль методом магнитопорошковой дефектоскопии выбран по экономическим соображениям, так как себестоимость работ при контроле методом цветной дефектоскопии за 1 м² контроля сварного соединения составляет $C^{ц.д.} = 1031,03$ руб.

Себестоимость при контроле неразрушающими методами:

$$C^{н.м.} = \sum C_n^{н.м.} = 56341 + 351570 + 386685 + 9090450,7 = 9885046,7 \text{ руб.}$$

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

- зачистка поверхности под контроль до шероховатости Rz40 зоны 50 мм х 50 мм (40 зон на одно сечение обечайки, по 40 зон сверху и снизу трубопровода, по 7 зон на патрубках штуцеров), себестоимость:

$$C_1^{y.t.} = C^{b.p.} \times N_{зон.} = 16,73 \times (20 \times 40 + 40 \times 2 + 6 \times 7) = 15425 \text{ руб.}$$

где: $C^{b.p.}$ – себестоимость зачистки 1 зоны поверхности;

$N_{зон.}$ – количество зон.

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

$$C_2^{y.t.} = C^{т.т.} \times N_3 = 51,56 \times 922 = 47538,32 \text{ руб.}$$

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

N_3 – количество замеров.

Себестоимость работ при контроле толщины стенок основных элементов:

$$C^{y.t.} = \sum_n C_n^{y.t.} = 15425 + 47538,32 = 62963,32 \text{ руб.}$$

5. Себестоимость расчета на прочность: $C^{p.п.} = 590,49$ руб.

6. Гидравлические испытания на прочность и герметичность, производятся собственными силами организации (в присутствии членов комиссии), поскольку имеется достаточное техническое оснащение и квалификация рабочего персонала.

7. Себестоимость расчета остаточного ресурса $C^{p.o.} = 1338,94$ руб.

8. Себестоимость работ при анализе результатов контроля и расчетов:

$$C^{a.p.} = 7674,19 \text{ руб.}$$

9. Себестоимость работ при составлении технического заключения о возможности дальнейшей эксплуатации трубопровода:

$$C^{т.з.} = 3069,69 \text{ руб.}$$

Стоимость комплекса работ при техническом диагностировании трубопровода для транспортировки СУГ:

$$\begin{aligned} Ц = & (4693,88 + 991029,6 + 9885046,7 + 62963,32 + 590,49 + 1338,94 \\ & + 7674,19 + 3069,69) \times 1,1 \times 1,2 \cdot \left(1 + \frac{25}{100}\right) = 18077096,9 \text{ руб.} \end{aligned}$$

Вывод

В результате полученных расчетов показателя ресурсоэффективности для различных конструкций детекторного модуля, исходя из значения наибольшего коэффициента интегральности, можно сделать вывод о том, что крепление оборудования к трубопроводу при помощи каретки с промежуточной опорной

поверхностью является наиболее эффективным и сохраняет высокую конкурентоспособность согласно интегральным показателям: финансовый показатель разработки 0,728, показатель ресурсоэффективности разработки 4,58 и показатель эффективности 6,31.

В ходе выполнения данной части выпускной квалификационной работы была проанализирована конкурентоспособность применения метода цифровой рентгенографии, в совокупности с системой орбитального перемещения для проведения контроля кольцевых сварных швов магистральных трубопроводов, что дает возможность сократить затраты при проведении технического диагностирования.

4. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

Введение

Обеспечение надежной и безопасной эксплуатации системы магистральных трубопроводов является важнейшей задачей нефтегазовой

отрасли страны. Для осуществления комплексной оценки текущего технического состояния трубопроводов наряду с существующими методами неразрушающего контроля внедряются автоматизированные системы орбитального перемещения, применение которых позволит предотвратить возникновение аварийных ситуаций при эксплуатации системы трубопроводов и обеспечить безопасность жизни и здоровью сотрудников, а также экологической обстановки окружающей среды.

Объектом исследования каретка орбитального перемещения по промежуточной опорной поверхности для размещения дефектоскопического оборудования при диагностировании кольцевых сварных швов магистральных нефтегазопроводов. Основные направления магистральны трубопроводов расположены в северных широтах Российской федерации. Колебание температуры в местах проведения работ от минус 50 до плюс 40 °С. Климат континентальный период проведения работ круглогодичный.

В соответствии с ФЗ №116 «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» магистральные трубопроводы относятся к опасным объектам. Дефектоскопия трубопроводов подразумевают взаимодействие специалистов сервисных компаний с опасными производственными факторами, в связи с чем возникает необходимость в строгом нормировании условий труда, проведении мероприятий по уменьшению воздействий вредных и опасных факторов на специалистов неразрушающего контроля и окружающую среду [28].

4.1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Согласно ПБ 03-440-02 «Правила аттестации персонала в области неразрушающего контроля», к проведению неразрушающего контроля опасных производственных объектов допускаются лица, достигшие 18-летнего возраста, которые прошли медицинский осмотр и не имеют противопоказаний, имеют документы о прохождении аттестации, прошедшие инструктаж по технике безопасности. В соответствии с федеральным законом РФ от 28.12.2013 № 426-

ФЗ «О специальной оценке условий труда», специалисты неразрушающего контроля сталкиваются с вредными условиями труда [29].

Рабочая зона сотрудников сервисной компании подразумевает возможное воздействие на них радиационного излучений, отклонений климата в рабочей зоне и при работе на открытом воздухе и другие вредные и опасные факторы. Компенсация за вредные условия труда и ее размер устанавливается на основании статей трудового кодекса, коллективного договора или иных внутренних документов предприятия. Законодательством предусмотрено, что люди, работающие в опасных условиях, могут получать такие гарантии и компенсации:

- уменьшение количества рабочих часов до 36 часов в неделю и меньше (в зависимости от режима работы – вахтовый, постоянный);
- оплачиваемый отпуск, являющийся дополнительным и предоставляемым каждый год (не меньше 7 календарных дней);
- надбавка за вредность в размере не меньше 4% от оклада;
- бесплатное лечение и оздоровление;
- выдача спецодежды и средств индивидуальной защиты.

Поскольку проведение неразрушающий контроль осуществляется непосредственно на дефектном участке трубопровода, организация рабочей зоны выполняется в ходе подготовительных работ. При работе в котловане специалист неразрушающего контроля обязан убедиться в качестве выполненных земляных работ и проверить наличие загазованности в воздухе рабочей зоны. Должен быть обеспечен удобный доступ к диагностируемому участку трубопровода. Необходимо наличие не менее 4-х лестниц, защитных ограждений, отсутствия техники на краю котлована.

Обработка персональной информации работника подразумевает соблюдение определенных правил. Целью соблюдения правил является обеспечение прав и свобод гражданина и человека. Выполнять требования по обработке должны работодатель и его представитель, выполняющий эти

обязанности. Требования к защите персональных данных работника установлены в 14 главе Трудового Кодекса РФ.

4.2. Производственная безопасность

В таблице 22 представлен перечень опасных и вредных факторов, которые могут возникнуть при проведении диагностики трубопроводов методом рентгеновского неразрушающего контроля согласно ГОСТ 12.2.003- 2015 [30].

Таблица 22 – Опасные и вредные факторы при проведении диагностики трубопроводов.

Факторы (Гост12.0.003-2015)	Этапы работ			
	Разработка	Изготовление	Эксплуатация	
Отклонение показателей климата на открытом воздухе				Нормативные документы
Повышенный уровень шума и вибрации		+	+	
Утечки токсичных и вредных веществ в атмосферу				
Повышенная загазованность рабочей зоны				
Опасность поражения электрическим током	+	+	+	
Опасность механических поражений		+	+	

4.3. Анализ вредных производственных факторов и мероприятия по их устранению

Вредными производственными факторами называются факторы, отрицательно влияющие на работоспособность или вызывающие профессиональные заболевания.

4.3.1. Повышенная загазованность рабочей зоны

Главным источником загазованности рабочей зоны является скопление вредных и взрывопожароопасных веществ, образующиеся при работе, связанной с осмотром, чисткой и ремонтом технологического оборудования, а также с установкой и снятием заглушек, что может вызвать отравление парами углеводородов и ожоги при возгорании смеси. Также выделение газов на наружных площадках и в помещениях может произойти через не плотности фланцевых соединений, пропуск газа в сальниках, из-за разрушений трубопроводов, не плотностей в оборудовании.

Для предотвращения воздействия на работников загазованности, соответствие с ГН 2.2.5.552-98 работники перед проведение работ, а также периодически во время проведения работ контролировать состояние рабочей воздушной среды с помощью газоанализаторов [31].

Предельно-допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны, которые могут появиться при проведении диагностики трубопроводов, представлены в таблице 23.

Таблица 23 – Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны.

Наименование вещества	Величина ПДК, мг/м ³	Класс опасности
Углеводороды алифатические предельные C1 – C10	300	IV
Бензин – растворитель (в пересчете на углерод)	300	IV
Керосин (в пересчете на углерод)	300	IV
Сероводород в смеси с углеводородами C1 – C2	3	II
Нефть сырая	10	III
Углекислый газ	9000	IV

Мероприятия по снижению негативного воздействия вредных веществ на

персонал:

- исключение источников появления вредных веществ (соблюдение правил эксплуатации, противокоррозионная защита, своевременная замена уплотнений оборудования и запорной арматуры);
- применение газоанализаторов для контроля загазованности;
- применение принудительной вентиляции для снижения их концентрации в воздухе рабочей зоны;
- использование средств индивидуальной защиты: противогазы, респираторы, спецодежда, изолирующие костюмы, рукавицы, перчатки, очки, маски.

4.3.2. Недостаточная освещенность рабочей зоны

Уровень освещения влияет не только на функционирование зрительного аппарата специалиста, но и на его физическое и психоэмоциональное состояние. При чрезмерном или же недостаточном освещении значительно снижается работоспособность производителя диагностических работ в связи с ухудшениями условий труда. Так, согласно европейскому стандарту EN 13018:2001, перед проведением визуально-измерительного контроля участка трубопровода должна быть обеспечена освещенность не менее 160 люкс для обзорного визуального контроля и не менее 500 люкс для локального визуального контроля.

Для компенсации недостаточной освещенности в светлое время суток используют комбинацию естественного и искусственного освещения, в темное время суток пользуются искусственным освещением согласно СП 52.13330.2011. В процессе идентификации обнаруженных дефектов и определения их параметров с применением методов неразрушающего контроля используют источники местного освещения. Для этого применяются переносные светильники на аккумуляторе во взрывозащищенном исполнении [32].

Таблица 24 – Рекомендуемые источники света при системе комбинированного освещения

Характеристика зрительной работы по требованиям к цветоразличению	Освещенность при системе комбинированного освещения, лк	Минимальный индекс цветопередачи источников света, R_a		Диапазон цветовой температуры источников света, T_c , °К		Примерные типы источников света для освещения	
		Общ.	Мест.	Общ.	Мест.	Общ.	Мест.
Различие цветных объектов при невысоких требованиях к цветоразличению	500	0	50	500-5500	3500-5500	ЛБ (ЛХБ), МГЛ, НЛВД+МГЛ	ЛБ (ЛХБ)
	300, 400						
	150, 200	5	000-4500	3500-5000	ЛБ (ЛХБ), НЛВД+МГЛ, МГЛ (ДРЛ)	ЛБ (ЛХБ)	
							300, 400
	150, 200	5	400-4500	2800-4500	ЛБ (ЛХБ), НЛВД, МГЛ (ДРЛ)	ЛБ (ЛХБ)	

Аварийное освещение предусмотрено на случай отключения рабочего освещения для продолжения работ или для эвакуации людей. Освещенность в первом случае составляет не менее 2 лк, во втором – не менее 0,5 лк. Для охранного освещения (не менее 0,5 лк) используется часть светильников рабочего освещения.

Расчитываем систему общего люминесцентного освещения. Высота рабочей поверхности $h_{рп} = 0,8$ м; требуемая норма освещенности 300 лк. Коэффициент отражения стен $R_c = 50$ %, потолка $R_{п} = 50$ %.

Выбираем светильники типа ОД, $\lambda = 1,15$.

Приняв $h_c = 0.5$ м , далее определяем расчетную высоту:

$$h = H - h_c - h_{\text{рп}}$$

где $h_{\text{рп}}$ – высота рабочей поверхности над полом, м;

L – расстояние между соседними светильниками или рядами, м;

h – расчётная высота, высота светильника над рабочей поверхностью, м

$$h = 3,5 - 0,5 - 0,8 = 2,2 \text{ м}$$

Рассчитаем расстояние между светильниками:

$$L = \lambda \cdot h = 1,5 \cdot 2,2 = 3,3 \text{ м}$$

Расстояние от крайнего ряда светильников до стены:

$$L_{\text{св}} = \frac{L}{3} = \frac{3,3}{3} = 1,1 \text{ м}$$

Определяем количество рядов светильников и количество светильников в ряду:

$$n_{\text{ряд}} = \frac{(B - \frac{2}{3} \cdot L)}{L} + 1 = \frac{(3 - \frac{2}{3} \cdot 1,1)}{1,1} + 1 = 3 \text{ ряда}$$

$$n_{\text{св}} = \frac{(A - \frac{2}{3} \cdot L)}{L_{\text{св}} + 0,5} = \frac{(6 - \frac{2}{3} \cdot 1,1)}{1,1 + 0,5} = 4 \text{ шт.}$$

Необходимо найти общее количество светильников с люминесцентными лампами в помещении определяется по формуле:

где N – общее количество светильников;

$n_{\text{ряд}}$ – количество рядов;

$n_{\text{св}}$ – количество светильников в ряду.

$$N = n_{\text{ряд}} \cdot n_{\text{св}} = 3 \cdot 4 = 12 \text{ шт.}$$

Вычисляем индекс помещения и по справочным таблицам находим коэффициент использования светового потока для выбранного типа светильника [2].

$$i = \frac{A \cdot B}{h \cdot (A + B)} = \frac{6 \cdot 3}{2,2 \cdot (6 + 3)} = 0,9$$

где A и B – длина и ширина помещения, м

h – высота подвеса светильников над рабочей поверхностью, м.

Для заданных условий коэффициенты отражения стен $R_c = 30\%$, потолка $R_n = 50\%$.

Находим коэффициент использования светового потока $\eta_i = 0,6$.

Определяем световой поток лампы:

$$\Phi = \frac{E_n \cdot S \cdot k \cdot Z}{N_l \cdot \eta}$$

где $E_n = 200$ лк – нормируемая освещенность, установили исходя из заданных данных по СНиП 23.05.95;

S – площадь помещения, м²;

K_3 – коэффициент запаса, учитывающий запыление светильников и износ источника света в процессе эксплуатации;

Z – поправочный коэффициент, учитывающий неравномерность освещения;

N_l – количество светильников, лм;

η – коэффициент использования светового потока.

$$\Phi = \frac{E_n \cdot S \cdot k \cdot Z}{N_l \cdot \eta} = \frac{200 \cdot 18 \cdot 1,5 \cdot 0,9}{12 \cdot 0,6} = 675 \text{ лм}$$

По таблице 24 выбираем ближайшую стандартную лампу – ЛД – 15 со световым потоком 700 лм и мощностью 15 Вт.

Размещаем светильники в 4 ряда. В каждом ряду можно установить 2 светильника типа ШОД – 2-30 мощностью 15 Вт с длиной 0.9 м, при этом разрывы между светильниками в ряду составят 50 см. Изображаем в масштабе план помещения и размещения на нем светильников (рис. 1). Учитывая, что в каждом светильнике установлено две лампы, общее число ламп в помещении $N = 96$.

Делаем проверку выполнения условия:

$$-10\% \leq \frac{\Phi_{\text{л.станд}} - \Phi_{\text{л.расч}}}{\Phi_{\text{л.станд}}} \cdot 100\% \leq +20\%$$

Получаем

$$-10\% \leq \frac{700 - 675}{700} \cdot 100\% \leq +20\%$$

$$-10\% \leq 3,6\% \leq +20\%$$

Из данного условия видно, что освещения достаточно, так как условия выполняются.

Определяем электрическую мощность осветительной установки

$$P = p \cdot N = 15 \cdot 12 = 180 \text{ Вт}$$

где p – мощность лампы, Вт;

N – число светильников, шт.

4.3.3. Повышенный уровень ионизирующего излучения

При проведении радиографического контроля на строительстве магистральных трубопроводов во избежание поражения электрическим током и

опасного воздействия на обслуживающий персонал ионизирующего излучения и вредных газов, образующихся в воздухе под действием излучения, необходимо строго соблюдать правила техники безопасности, установленные следующими нормативными документами:

- «Основными санитарными правилами работы с радиоактивными веществами и другими источниками ионизирующих излучений», СП 2.6.1.799- 99 [33];
- «Нормами радиационной безопасности» СанПиН 2.6.1.2523-09, [34];
- «Правилами безопасности при транспортировке радиоактивных веществ», НП-053-04;
- «Санитарными правилами по радиоизотопной дефектоскопии», СП2.6.1.3241-14;

Основные требования безопасности при производстве работ по радиографическому контролю:

Организации, где проводятся работы по радиографическому контролю, должны иметь разрешение на право производства данного вида работ, которое выдается местными органами санитарного надзора.

Помещения для радиографического контроля (в том числе дефектоскопические лаборатории), хранилища для радиоактивных веществ должны быть оборудованы согласно «Основным санитарным правилам работы с радиоактивными веществами и другими источниками ионизирующих излучений» СП 2.6.1.799-99 и «Санитарным правилам по радиоизотопной дефектоскопии» СП 2.6.1.3241-14.

Радиографический контроль и перезарядка радиоактивных источников должны проводиться с использованием специально предназначенной для этих целей и находящейся в исправном состоянии аппаратуры.

До начала эксплуатации рентгеновских аппаратов и гамма-дефектоскопов администрация организации (предприятия) обязана на основе СП 2.6.1.799-99 разработать инструкции по радиационной безопасности, устанавливающие действие персонала, порядок проведения работ по радиоизотопной дефектоскопии, учета, хранения и выдачи источников излучения, содержания помещений и т.д.

К работе по проведению радиографического контроля допускаются лица, прошедшие специальный медицинский осмотр, инструктаж по технике безопасности и сдавшие экзамен по безопасному ведению работ в установленном порядке.

Лица, временно привлекаемые к работам, связанным с использованием рентгеновских аппаратов гамма-дефектоскопов, должны быть обучены правилам безопасности при работе с источниками ионизирующего излучения и допущены по медицинским показаниям.

Периодическая проверка знаний обслуживающим персоналом инструкций по технике безопасности и радиационной безопасности должна производиться не реже одного раза в год одновременно с периодическими проверками квалификации персонала.

Все имеющиеся в наличии рентгеновские аппараты и гаммадефектоскопы, поступившие на предприятие, должны регистрироваться в соответствии с СП 2.6.1.799-99.

К моменту получения рентгеновских аппаратов, гамма-дефектоскопов администрация должна назначить ответственное лицо, следящее за учетом, хранением и врачей этого оборудования, а также назначить ответственного за радиационную безопасность и электробезопасность.

Перезарядка гамма-дефектоскопов (перемещение держателей с источниками из транспортно-перезарядных контейнеров в радиационные головки и обратно) должна производиться в соответствии с требованиями СП 2.6.1.799-99 в специальных помещениях при наличии штатных дистанционных приспособлений заводского изготовления.

Хранение и перезарядка гамма-дефектоскопов с источниками вне специально оборудованных мест запрещается.

Переносные гамма-дефектоскопа следует хранить в специальных помещениях-хранилищах, которые закрываются под ключ и опечатываются.

В организациях, где проводятся работы с применением источников ионизирующего излучения, должен осуществляться дозиметрический контроль, который обеспечивает соблюдение норм радиационной безопасности и получение информации о дозе облучения персонала.

Данные радиационного контроля записывают в специальный журнал.

Индивидуальный контроль за дозой внешнего облучения ведется с помощью индивидуальных дозиметров.

При проверке принимаются наибольшие показания дозиметров.

Данные о дозах облучения (переоблучения) персонала и эффективности средств защиты необходимо немедленно сообщить органам местной СЭС и администрации организации, а также контролирующему санитарному врачу (по его требованию) для принятия мер к уменьшению доз облучения.

4.3.4. Утечки токсичных и вредных веществ в атмосферу

Главным источником формирования данного фактора является возможная разгерметизация трубопроводов или оборудования в процессе работы, что может вызвать отравление парами углеводородов.

В целях достижения безопасности персонала необходимо соблюдать требования:

- допуска персонала, имеющего специальную подготовку, определенную требованиями норм и правил и квалификацию;
- безопасных приемов и методов труда;
- мер газовой и пожарной безопасности;
- по применению средств индивидуальной защиты, средств пожаротушения с отработкой приемов их использования,

- к спецодежде из термостойких и антистатических материалов и индивидуальным средствам защиты.

4.3.5. Повышенный уровень шума и вибрации

В настоящее время эксплуатация подавляющего большинства технологического оборудования неизбежно связана с возникновением шумов и вибраций различной частоты и интенсивности, оказывающих весьма неблагоприятное воздействие на организм человека.

Допустимые шумовые характеристики рабочих мест регламентируются ГОСТ 12.1.003-2014. В соответствии с требованиями ГОСТ громкость ниже 80 дБ не влияет на органы слуха [36].

Длительное действие шума > 85 дБ приводит к постоянному повышению порога слуха, к повышению кровяного давления.

Вибрация - это механические колебания твёрдых тел - частей аппаратов, машин, оборудования, воспринимаемое организмом человека как сотрясения. Часто вибрации сопровождаются шумом.

Гигиенические допустимые уровни вибрации регламентирует ГОСТ 12.1.012-2004 «ССБТ. Вибрационная безопасность. Общие требования» [37].

Нормируемые параметры вибрации – среднеквадратичные значения виброскорости в м/с или её логарифмические уровни в дБ в октавных полосах частот. Базовая частота предельного спектра для общей вибрации равна 63 Гц (95 дБ), для локальной - 125 Гц (110дБ).

В производственных условиях с целью предотвращения вредного воздействия шума и вибрации на организм человека необходимо всегда добиваться, чтобы уровни шума и вибрации не превышали допустимых значений. Снижение шума и вибрации можно достичь следующими методами:

- уменьшение шума и вибрации в источнике их образования;
- изоляция источников шума и вибрации средствами звукоизоляции и звукопоглощения, виброизоляции и вибродемпфирования;
- применение средств индивидуальной защиты.

Средства защиты от шума подразделяют на две группы: вкладыши, вкладываемые в устье слухового аппарата, и наружные противошумы - наушники, шлемы, накладываемые на ушную раковину. Наиболее эффективны вкладыши «Беруши», позволяющие снижать уровень звука на различных частотах от 15 до 30 дБ.

4.3.6. Отклонение показателей микроклимата в рабочей зоне

Операторы автоматизированных рентгеновских систем производят управление устройствами в мобильных автолабораториях. Для обеспечения работоспособности специалистов в автолабораториях должны соблюдаться необходимые показатели микроклимата, такие как относительная влажность, интенсивность теплового излучения от нагретых поверхностей, барометрическое давление, скорость движения и температура воздуха и т.д. Согласно СанПиНу 2.2.4.548-96, на рабочем месте должна поддерживаться температура от +21 до +23 °С в холодное время года и от +22 до +24 °С – в теплое. Относительная влажность должна находиться в пределах 40-60%. Чтобы обеспечить оптимальное сочетание параметров микроклимата, используют системы вентиляции и отопления [38].

Работающие в зимний период года на открытом воздухе должны быть обеспечены спецодеждой с теплозащитными свойствами. При температуре воздуха минус 40 °С и ниже необходима защита органов дыхания и лица. В летний период работающие должны быть обеспечены головными уборами исключающие перегрев головы от солнечных лучей. Постановление Администрации Томской области от 11.02.2011 г. №29а регламентирует следующие погодные условия, при которых работы на открытом воздухе работодателями приостанавливаются (таблица 25).

Таблица 25 – Условия организации работ в холодный период года на открытом воздухе

Скорость ветра м/с	Температура воздуха, °С
0	-36
0–5	-35
5–10	-34
Выше 10	-32

4.4. Анализ опасных производственных факторов и мероприятия по их устранению

Опасный производственный фактор - фактор среды и трудового процесса, который может быть причиной травмы, острого заболевания или внезапного резкого ухудшения здоровья, смерти.

4.4.1. Движущиеся машины и механизмы

В процессе установки внутритрубного снаряда-дефектоскопа возможен производственный травматизм рабочей бригады вследствие подвижных частей производственного оборудования, перемещений оборудования при монтаже и демонтаже, острых кромок и заусенцев на поверхностях оборудования, использования подъемных кранов для подачи дефектоскопа в камеру пуска и приема средств очистки и диагностики и т.д. Требования, предъявляемые к производственному оборудованию, подробно описаны в ГОСТ 12.2.003-91 [39].

Для предотвращения производственного травматизма рабочий персонал должен знать и соблюдать технику безопасности при работе с нефтегазовым оборудованием, а также быть обеспеченным необходимыми средствами индивидуальной защиты: рабочая одежда, перчатки, каски и т.д.

4.4.2. Поражение электрическим током

Источниками поражения от электрического тока при диагностике трубопроводов являются электрические привода для подачи питания на дефектоскопические приборы и устройства.

Причины поражения электрическим током: прикосновение к токоведущим элементам, ошибочные действия персонала, нарушение изоляции токоведущих

элементов, метеорологические условия (удар молнии) и аварийные ситуации. Опасное и вредное воздействие на людей электрического тока проявляются в виде электротравм и профессиональных заболеваний. Требования, предъявляемые к электробезопасности производственных процессов, подробно описаны в ГОСТ Р 12.1.019.2009. Предупреждение электротравматизма на объектах достигается выполнением следующих мероприятий:

- применение защитного зануления, защитного заземления, защитного отключения;
- обеспечение изоляции, ограждение и недоступность электрических цепей;
- использование предупредительных плакатов и знаков безопасности;
- установка молниеотводов;
- проведение инструктажей и обучения персонала безопасным методам работы с электроприборами;
- использование средств индивидуальной защиты: диэлектрических перчаток и бот, диэлектрических резиновых коврик, инструментов с изолированными ручками [40].

Факторы, связанные пожароопасностью:

Пожарная опасность обусловлена высокой горючестью газов и турбинного масла, наличием большого количества потенциальных источников загорания. Пожары в помещениях подготовки и транспортировки газа характеризуются быстрым развитием пожара.

Ответственность за соблюдение пожарной безопасности в организации, за своевременное выполнение противопожарных мероприятий и исправное содержание средств пожаротушения несет начальник КС по производственной безопасности и его заместитель по хозяйственной части.

4.4.3. Оборудование и трубопроводы, работающие под давлением

При диагностировании дефектных участков трубопровода, находящегося в

эксплуатации, основной опасностью является возможное разрушение трубопровода под действием транспортируемой продукции. Следствием аварии могут стать пожар, гибель людей, приведение оборудования в негодное состояние, утечка транспортируемого продукта, что также негативно отразится на окружающей среде.

Для предотвращения возникновения аварийных ситуаций и инцидентов проводят комплексное диагностирование технического состояния трубопроводов с целью обнаружения дефектов геометрии труб, потериметалла и трещин в сварных швах. В случае аварии трубопровод должен быть немедленно остановлен и отключен до обнаружения причины аварии и ее устранения аварийной бригадой [41].

4.5. Экологическая безопасность

4.5.1. Воздействия объекта на атмосферу

Перекачиваемое по трубопроводам углеводородное сырье и иные загрязняющие вещества, содержащиеся в скважинной продукции, могут попадать в атмосферу в результате образования сквозных отверстий, свищей в теле трубопровода и выхода транспортируемой продукции в окружающую среду. Также загрязнение атмосферы происходит при плановых остановках объектов подготовки нефти и газа и опорожнение технологических трубопроводов.

Для защиты атмосферы от негативного воздействия токсичный и загрязняющих веществ проводятся следующие мероприятия:

- проверка оборудования на прочность и герметичность;
- соблюдение согласованных технологических режимов работы оборудования;
- своевременная замена уплотнений оборудования и запорной, арматуры
- проведение диагностики трубопроводов на наличие утечек и

ихустранение.

4.5.2. Воздействия объекта на гидросферу

В процессе идентификации дефектов по результатам диагностического обследования трубопроводов возможен выход скважинной продукции в грунтовые воды, либо водный объект, если авария произошла на подводном переходе.

Для предотвращения аварийных ситуаций и загрязнения гидросферы подводные переходы и трубопровод в целом должен быть продиагностирован методами внутритрубной дефектоскопии, с применения водолазных дефектоскопических работ и при помощи самодвижущихся робототехнических систем.

4.5.3. Воздействия объекта на литосферу

При подготовке трубопроводов к пропуску внутритрубных дефектоскопических снарядов производят очистку внутренней полости трубопровода с применением очистных скребков. После пропуски очистных скребков в камеру приема очистных средств поступают внутритрубные отложения (например, парафины, механические примеси, продукты коррозии и т.д.), которые являются возможным источником загрязнения литосферы. Также в результате ремонтных работ образуется большое количество отходов производства.

Для защиты литосферы от загрязнения все отходы подлежат селективному сбору и последующей утилизации в соответствии с ГОСТ Р 57677-2017 «Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Ликвидация отходов недропользования» [42].

4.6. Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Чрезвычайная ситуация (ЧС) - это обстановка на определенной территории, сложившаяся в результате аварии, опасного природного явления, катастрофы, стихийного или иного бедствия, которые могут повлечь или

повлекли за собой человеческие жертвы, ущерб здоровью людей или окружающей природной среде, значительные материальные потери и нарушение условий жизнедеятельности людей.

При проведении технического диагностирования трубопроводов вероятно возникновения чрезвычайных ситуаций:

- выход углеводородов;
- возгорание углеводородов;
- природные чрезвычайные ситуации.

4.6.1. Чрезвычайные ситуации техногенного характера

Наиболее вероятные чрезвычайные ситуации при проведении работ по дефектоскопии на работающем объекте возможны в следствие обнаружение дефектов приводящих к выходу углеводородов или остаточному состоянию загазованности атмосферы в котловане с превышение допустимых значения концентрации углеводородов после проведения ремонтных работ. При использовании инструмента и оборудование с электродвигателем возможно образование иск, что в сочетании с вышеупомянутыми факторами может привести к возгоранию паров углеводородов.

Для уменьшения вероятности возникновения чрезвычайной ситуации в виде пожара или выхода углеводородов проводятся следующие мероприятия:

- При проведении ремонтных или дефектоскопических работ исполнители должны неукоснительно соблюдать правила и требования по работе с оборудованием и приборами, а также использовать газоанализатор для определения концентрации углеводородов в рабочей зоне. При превышении ПДК работники должны покинуть место работы до устранения причин повышения загазованности.
- При обнаружении критического дефекта по результатам диагностики, способного вызвать аварию, необходимо прекратить работы и сообщить руководству.
- Для предотвращения возможности возникновения пожара

используют пожаробезопасное взрывозащищенное оборудование. Работники должны использовать спецодежду со специальными пропитками, прошитую антистатической нитью, а также проводятся в обязательном порядке инструктажи по пожароопасным работам. При возникновении пожара необходимо сообщить о происшествии ближайшему пожарному расчету, руководству и по возможности произвести тушение пожара средствами первичного пожаротушения (ГОСТ Р 51017-2009), сохраняя приоритет жизни здоровью.

4.6.2. Чрезвычайные ситуации природного характера

Наиболее вероятной чрезвычайной ситуаций природного характера является удар молнией.

- Для обеспечения безопасности людей и сохранности зданий, сооружений и оборудования от разрушения, загорания и взрывов при ударах молнии предпринимаются следующие меры:
 - Для уменьшения вероятности повреждения оборудования, возгорания и накопления статического электричества производят заземления оборудования и передвижной лаборатории.
 - При природных явлениях, несущие угрозу жизни и здоровью работников, а также безопасному проведению работы необходимо остановить работы и переместиться в безопасное место, обеспечив сохранность оборудования.

Сохранение качественной жизни и здоровья человека является основой цивилизованного мира. При производстве работ обязательным составляющей является проведения комплекс мероприятий по защите человека, окружающей среды и имущественных ценностей. Основными выделенными вредными и опасными факторами является загазованность рабочей зоны, а также возможное повышенное ионизирующее излучение.

Вывод

Результаты моделирования показывают, что рассматриваемая компоновка

механизма орбитального перемещения (с тяговой цепью) с полезной нагрузкой имеет ряд преимуществ перед классической компоновкой.

Опорные элементы не испытывают повышенных нагрузок, конструкция такого механизма более проста. Механизм не нуждается в дополнительных настройках при установке на объект контроля, кроме регулировки усилия прижатия гибкой связью. Сама гибкая связь конструктивно проще направляющего пояса, более универсальна при работе с различной номенклатурой исследуемых труб и выгодно отличается по массогабаритным характеристикам. Однако упрощение конструкции опорного элемента (в нашем случае гибкой связи) может привести к потере прочностных характеристик, так как в процессе работы к ней прикладываются значительные растягивающие усилия.

Заключение

В ходе выполнения магистерской диссертации были проанализированы существующие методы неразрушающего контроля. Представлены способы контроля качества сварных соединений, более подробно рассмотрен

рентгенографический метод контроля, в частности схемы просвечивания и используемое оборудование.

В практической части работы был предложен расчет и анализ математической модели механизма орбитального перемещения, который является новой конструкцией в области неразрушающего контроля сварных соединений магистральных трубопроводов. Данный механизм обеспечивает перемещение дорогостоящего рентгенографического оборудования на магистральном трубопроводе. Методика расчета модели производилась в программном обеспечении MathCad, были построены математические и практические зависимости, которые доказали эффективную работу модели.

Список используемых источников:

1. Транснефть. Развитие трубопроводной системы – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.transneft.ru/about/development-system/396/>. Дата посещения: 10.04.2020;
2. Богданов Е.А. Основы технической диагностики нефтегазового

оборудования: учебное пособие для вузов, Е.А. Богданов. – М.: Высшая школа, 2006. – 279 с;

3. Маслов Б.Г. Неразрушающий контроль сварных соединений и изделий в машиностроении: учебное пособие, Б.Г. Маслов. – М.: Академия, 2008. – 272 с;

4. Ключев В.В. Неразрушающий контроль: справочник: в 8 т., В.В. Ключев. – 2-е издание, переработанное и исправленное. – М.: Машиностроение, 2006-2008;

5. Пархоменко П.П., Сагомоян Е.С. Основы технической диагностики. – М.: Энергоиздат, 1981. – 308 с;

6. ГОСТ 18353-79. Контроль неразрушающий. Классификация видов и методов;

7. Биргер И.А. Техническая диагностика. – М.: Машиностроение, 1978. – 240 с;

8. РД 03-606-03. Инструкция по визуальному и измерительному контролю;

9. Ермолов И.Н., Останин Ю.Я. Методы и средства неразрушающего контроля качества: учеб. пособие для инженерно-техн. спец. вузов. – М.: Высшая школа, 1988. – 368 с;

10. ГОСТ 20911-89. Техническая диагностика. Термины и определения;

11. ГОСТ 18442-80. Контроль неразрушающий. Капиллярные методы. Общие требования;

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

13. Выборнов Б.И. Ультразвуковая дефектоскопия – М.: Металлургия, 1985. – 256 с;
14. Ермолов И.Н., Ермолов М.И. Ультразвуковой контроль. Учебник для специалистов первого и второго уровня квалификации. Издание пятое, стереотипное. – М.: Высшая школа, 2006. – 208 с;
15. Назипов Р.А., Храмов А.С., Зарипова Л.Д. Основы радиационного неразрушающего контроля. Учебно-методическое пособие для студентов физического факультета. – Казань: Изд-во Казанск. гос. ун-та, 2008. – 66 с.: ил;
16. ГОСТ 24034-80. Контроль неразрушающий радиационный;
17. ГОСТ 23764-79. Гамма-дефектоскопы. Общие технические условия;
18. ГОСТ Р 54907-2012. Техническое диагностирование. Основные положения;
19. Ермолов И.Л., Мор Ф.Р., Подураев Ю.В., Шведов В.В. Мобильные роботы для инспекции и ремонта подземных трубопроводов: современное состояние и перспективы развития. Мехатроника. – М.: Высшая школа, 2000;
20. РД-08.00-60.30.00-КТН-046-1-05. Неразрушающий контроль сварных соединений при строительстве и ремонте магистральных нефтепроводов;
21. Костюков В.Н., Бойченко С.Н., Костюков А.В. Автоматизированные системы управления безопасной ресурсосберегающей эксплуатацией оборудования нефтеперерабатывающих и нефтехимических производств. – М.: Машиностроение, 1999. – 163 с;
22. Самоходные импульсные рентгеновские аппараты. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.spectroflash.ru/info/articles/288/299/>;
23. ГОСТ 7512-82. Контроль неразрушающий. Соединения сварные. Радиографический метод;

24. Переносной комплекс цифровой радиографии «ТРАНСКАН» – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://ncontrol.ru/catalog/rentgenovskiy_kontrol/rentgenotelevizionnye_ustanovki/perenosnoj_kompleks_cifrovoj_radiografii_transkan. Дата посещения: 18.04.2020;
25. «CRC-EVANS» – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.crc-evans.com/onshore/technology/welding-machines>.
Дата посещения: 18.04.2020;
26. Контроль сварных соединений — Моторизованный однокоординатный сканер – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.olympus-ims.com/ru/scanners/weldrover/>. Дата посещения: 18.04.2020;
27. Видяев И.Г., Серикова Г.Н., Гаврикова Н.А. Финансовый менеджмент и ресурсосбережение: учебно-методическое пособие. Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. – 36 с;
28. ФЗ №116 «О промышленной безопасности опасных производственных объектов»;
29. ПБ 03-440-02 «Правила аттестации персонала в области неразрушающего контроля»;
30. ГОСТ 12.0.003-2015. ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация;
31. ГН 2.2.5.552-96. Предельно допустимые концентрации вредных веществ в воздухе рабочей зоны. Гигиенические нормативы;
32. СП 52.13330.2011, «Естественное и искусственное освещение»;
33. СП 2.6.1.799-99, «Основными санитарными правилами работы с радиоактивными веществами и другими источниками ионизирующих излучений»;
34. СанПиН 2.6.1.2523-09, «Нормами радиационной безопасности»;
35. СП 2.6.1.3241-14, «Санитарным правилам по радиоизотопной дефектоскопии»;
36. ГОСТ 12.1.003-2014. ССБТ. Шум. Общие

- требования безопасности;
37. ГОСТ 12.1.012-2004 «ССБТ. Вибрационная безопасность. Общие требования»;
38. СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений;
39. ГОСТ 12.2.003-91. ССБТ. Оборудование производственное. Общие требования безопасности.
40. ГОСТ Р 12.1.019-2009. ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты;
41. РД 51-2-97. Инструкция по внутритрубной инспекции трубопроводных систем;
42. ГОСТ Р 57677-2017 «Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Ликвидация отходов недропользования».

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Development of a mathematical model of the movement of the mechanism of orbital movement along the main pipeline.

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2БМ05	Юсупов Микаил Махамбетоглы		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Подпись	Дата
Доцент	Валитова Елена Юрьевна		

Консультант-лингвист отделения иностранных языков

Должность	ФИО	Подпись	Дата
Профессор	Матвеевко Ирина Алексеевна		

Technical diagnostics of pipelines

Various external and internal impacts occur under operating conditions. As a result, material degradation, corrosion damage, cracks that occur on the surfaces of pipes and other types of defects grow and develop. Despite the fact that the design of pipelines with the use of codes and technologies, development and implementation must ensure the use of the assigned resource, to eliminate the possibility of such defects cannot be achieved. In order to avoid serious consequences of growing defects, various studies are carried out; methods of non-destructive testing are applied.

The most universal method of non-destructive testing, which is used in almost all stages of the manufacture of products, is visual and measurement control.

Visually, the measuring control of objects (blanks, parts, semi-finished products) and welded joints is carried out at the following stages:

- input control;
- preparation of parts and assembly units for assembly;
- assembly of parts and assembly units for welding;
- welding process;
- control of finished welded joints and surfacing;
- post-repair stage;
- assessments of the state of the material and welded joints during

the operation of technical devices and structures, including after the expiration of the established period of their operation.

A leak is a through defect in a welded joint or structure of an object, the size of which serves to exit the product to the outside. As for defects, they are divided into primary and secondary defects. Primary defects are formed during the formation of a weld; these include fistulas – through pores, elongated in the type of channels, hot cracks and lack of penetration with slag inclusions. Secondary defects are those that appear after some time after welding – fatigue and cold cracks, or, for example, fistula, formed under the influence of aggressive environment or dynamic load.

Defects of welded joints are distinguished for reasons of occurrence and their location. Depending on the causes, they can be divided into two groups. The first group includes structural and thermal defects that occur during the formation of the weld pool and cooling of the weld: hot and cold cracks in the weld metal and the heat-affected zone, slag inclusions, changes in the properties of the weld metal and the heat-affected zone, pores. The second group of defects, which are called defects in the formation of welds, includes defects, the occurrence of which is mainly associated with imperfection of welding, improper preparation and poor-quality incoming inspection, equipment malfunction, and unqualified work of the welder. The defects of this group include the mismatch of the seams with the necessary geometric dimensions, burns, lack of penetration, undercuts, and influxes.

Defects at the location are divided into external and internal. External ones include: violation of the established dimensions and shape of the weld, lack of penetration, undercutting of the fusion zone, surface oxidation, burn-through, sag, surface pores, unwelded craters and cracks on the surface of the weld. Internal defects include the following: internal pores, non-metallic inclusions, lack of penetration and internal cracks. Defects in the shape and size of the welds are their non-uniformity, uneven width and height, tuberosity, saddles, constrictions, etc.

Inflows - are separately frozen drops of metal on the surface of the pipe or significantly extended along the seam of leakage of liquid metal on a cold surface without fusion. Most often, bursts are formed when performing horizontal welds on a vertical plane. In places of influx, lack of fusion, cracks are often detected.

Deepening are oblong grooves (grooves) formed in the base metal along the edge of the seam. They arise as a result of a large welding current and a long arc. Undercuts lead to a decrease in the cross section of the weld and an increase in stress concentration.

Burns - a through hole caused by the leakage of part of the metal from the seam.

Lack of fusion - the place of non-fusion of the base metal or the non-fusion of the individual layers between themselves. Reduce the cross-section of the

seam, cause an increased concentration of stress.

Cracks in their size cracks are macro- and microscopic. They can be named longitudinal and transverse relative to the seam, located in the seam or heat-affected zone.

Slag inclusions occur during poor-quality cleaning of surfaces from oxides and contaminants. They are stress concentrators and reduce the cross-section of the seam.

Non-metallic inclusions arise due to low welding current, poor-quality electrodes, contaminated edges and poor cleaning of the weld from slag. If the welding mode is incorrect, the oxides remain in the weld metal in the form of non-metallic inclusions.

Gas pores occur in welds with incomplete exit of gases during crystallization from the weld metal. The pores can be located in the seam in separate groups or as a single void. The method of leak detection is based on the use of a test or control substance as a working product, with the help of which a leak is detected and registered.

The minimum diameter of detectable channels in millimeters determines the degree of sensitivity of the method.

The passage of a liquid or gas through a leak obeys the laws of hydrostatics and hydrodynamics. In this case, the viscosity and molecular weight of the control (trial) substance should be taken into account, since the average diameters of the leak channels are very small.

Various gases and liquids are used as a test substance in various methods. The used gases are: air, nitrogen, helium, halides, ammonia, carbon dioxide, or mixtures of these gases. Control liquids are: water, kerosene, solutions, penetrants and others. The method of non-destructive testing based on registration of changes in the interaction of the controlled object and the electromagnetic field is called magnetic. For the purposes of the method, an extensive spectrum of electromagnetic fields is used, ranging from constant electric and magnetic fields to alternating fields with a frequency of tens of MHz.

Using this method, surface and subsurface defects of welded joints are

determined, which include discontinuities at a depth of up to 10 mm – incomplete penetration, cracks, gas pores, and slag inclusions.

Information on the presence of defects is obtained by registering and analyzing magnetic stray fields arising above the locations of defects.

The possibility of using magnetic methods to control ferromagnetic materials is based on their properties. In a normal state, in a product made of ferromagnetic material, there are spontaneously magnetized regions arranged in different ways – domains whose fields in this case compensate each other and the resulting magnetic field of the product is equal to zero. Under the influence of the magnetic field, the domains are oriented in the direction of this field, summed up and the part is magnetized. Figure 1 shows the hysteresis loop, which characterizes the magnetization process.

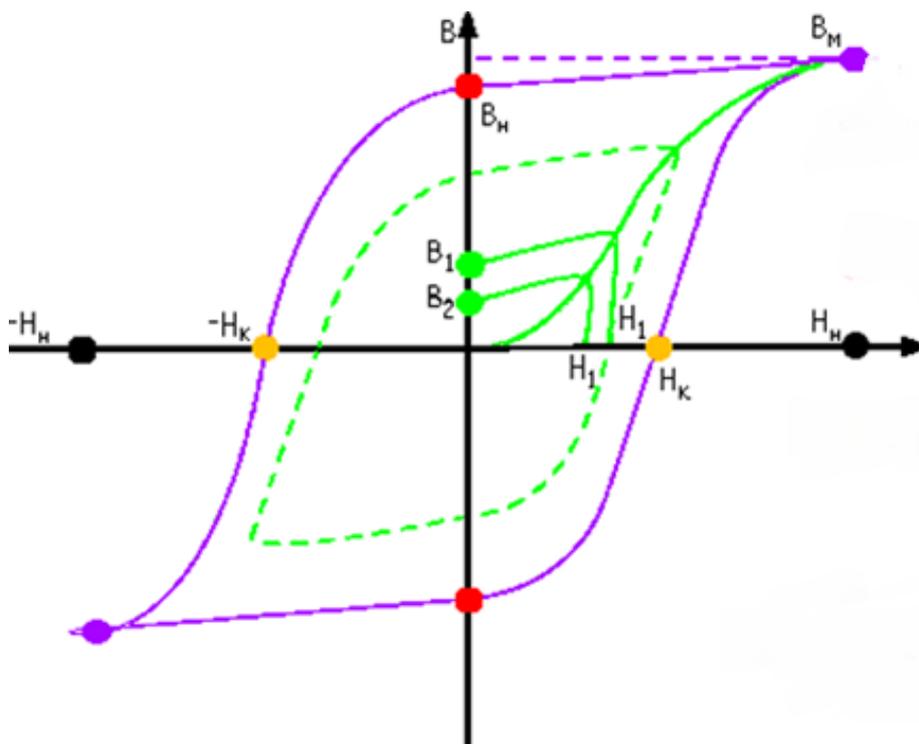


Fig. 1 – Hysteresis loop

The magnetic flux in the body of a ferromagnetic material spreads uniformly over the cross section, in case if the material has a solid structure and its magnetic permeability is constant.

The continuity of the material is broken in those places where defects are

localized. The resistance exerted by the magnetic flux from the side of the medium with defects is many times greater, therefore the flow is deflected as if flows around the defect. At this point, the magnetic field thickens and partially extends beyond the limits of the products, spreads through the air, and then enters the product back after the defect. This phenomenon is depicted in figure 2. In those places where the magnetic flux comes from and where it enters, magnetic poles are formed, which also remain after the removal of the magnetizing field due to residual magnetization.

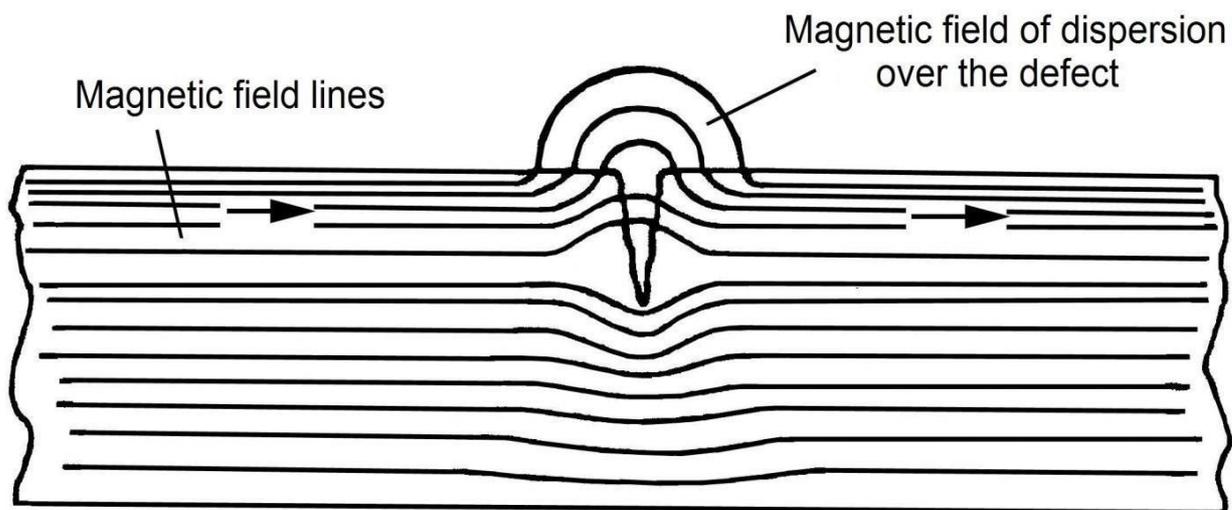


Fig. 2 – Power lines in the object with a defect

The magnetic field arising above the defect is called the stray field. If the defect is located perpendicular to the direction of the magnetic flux, then the scattering effect is maximal. Therefore, controlled welded joints are magnetized both in the longitudinal and transverse directions relative to the axis of the seam. This approach allows you to identify defects located both along and across the seam, as well as located at a small angle to it.

Thus, the control by magnetic methods consists in detecting stray fields formed by defects, deciphering the nature and magnitude of the detected defects. Magnetic control methods are classified by registering methods, of which there are more than six: magnetic particle, magnetic, magnetic ferrite, induction and magnetic semiconductor. In distribution in the field of non-destructive testing of welded joints only two methods found its greatest use: magnetic particle, magnetic.

To identify surface defects such as micro cracks and cracks, a capillary control method is used. Such defects come to the surface of the product, they also include narrow incomplete penetration and small surface pores that are difficult to detect during an external examination.

In particular, this method of non-destructive testing is important for detecting defects in critical welded joints from heat-resistant, austenitic stainless and heat-resistant steels, aluminum, brass, whose properties are limited by the possibility of using other methods.

Surface defects of microscopic opening and microscopic extent (with a ratio of not more than 1:10) have the properties of capillaries. In accordance with this, and the method by which they detect such defects is called capillary.

The capillary method is based on the ability of the indicator fluid to penetrate into the cavity of surface and through defects of the material of the test objects. After penetration of the indicator fluid, indicator traces are obtained by visual means or by means of transducers.

The method is used to identify surface and end-to-end discontinuities in the test object, as well as to be able to determine their length, orientation, and location on the surface (for defects such as cracks that have a length).

By changing the contrast of the background and the image of surface defects, defects are detected. For this purpose, special light-contrast and color-contrast indicator fluid – penetrants are used.

A penetrant is applied to the previously cleaned surface from contamination, and then it is kept for some time in order to allow the liquid to fill the defect cavity. Next, the excess indicator liquid is removed and manifesting composition is applied. The liquid that remains inside the defect forms a pattern, over time, at the background according to which the presence of a defect can be considered. The main stages of the control by the capillary method are shown in figure 3.

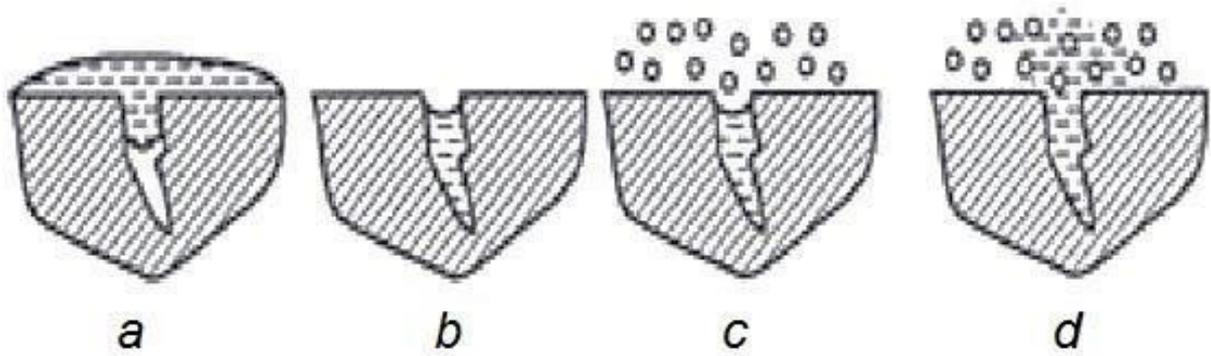


Fig. 3– Stages of capillary control: *a* – application of indicator liquid;
b – removal of excess; *c* – application of the formulation;
d – the formation of stains at the site of defects

Ultrasonic method

One of the most widely used methods for detecting internal defects in welds is ultrasonic method. This method is based on the ability of ultrasonic waves to penetrate into materials, to be reflected and refracted when two materials with different sound permeability fall on the interface.

Using ultrasound, it is possible to detect internal macroscopic defects in casting, forgings, welding (cracks, shells, slag inclusions, gas pores, lack of penetration, etc.).

Ultrasound is elastic mechanical oscillations of medium particles whose frequency is located outside the audible range, i.e. from 20 kHz to 500 MHz.

Ultrasonic waves can be obtained by mechanical, thermal, piezoelectric and other methods. In ultrasonic flaw detection of metals and welded joints, a piezoelectric method of ultrasound is more often used.

Some natural crystals, for example, quartz, tourmaline, Rochelle salt, and others have a piezoelectric effect. The essence of the piezoelectric effect is that if a plate is cut from these crystals in a certain way, then when a plate is compressed or stretched, an electric charge appears on its surface: positive on one side and negative on the other one. For uniform distribution of electric charges on the surface of the crystals, they are carefully grind, polished and coated with metal.

If elastic mechanical oscillations (ultrasonic waves) affect the piezoelectric crystal plate, an alternating electrical voltage arises at its electrodes with a frequency

of ultrasonic vibrations acting on it. The piezoelectric effect is reversible, i.e. if an alternating voltage is applied to the plate cut from the crystal, it begins to oscillate with the frequency of the applied voltage. If the frequency of the applied voltage is higher than 20 kHz, then the plate, oscillating, will emit ultrasonic waves, and their direction is perpendicular to the surface to which the voltage is applied. In the first case, this is called direct, and in the second, the reverse piezoelectric effect. Due to the complexity of processing, natural crystals in ultrasonic flaw detection are replaced by artificial ones, which are made by pressing and sintering, most often from barium titanate powder or lead titanite zirconate.

Ultrasound propagates in a homogeneous medium in the form of a directional wave, which at high frequencies obeys the laws of the light beam, i.e. it is reflected, refracted at the boundary of dissimilar media, and is affected by interference and diffraction.

Waves are reflected from the defect only if their length is commensurate with the defect or more. Otherwise, ultrasonic waves bend around a small discontinuity without significant reflection. Therefore, increasing the sensitivity of the method requires the use of waves of the shortest possible length.

Radiation method

Radiation flaw detection is based on the scanning of objects with ionizing radiation followed by registration and analysis of transmitted radiation by various detectors.

The block diagram of radiation monitoring consists of three main elements:

- ionizing radiation source;
- controlled object (welded joint);
- detector recording flaw detection information.

The block diagram of the radiation monitoring is illustrated in figure 4.

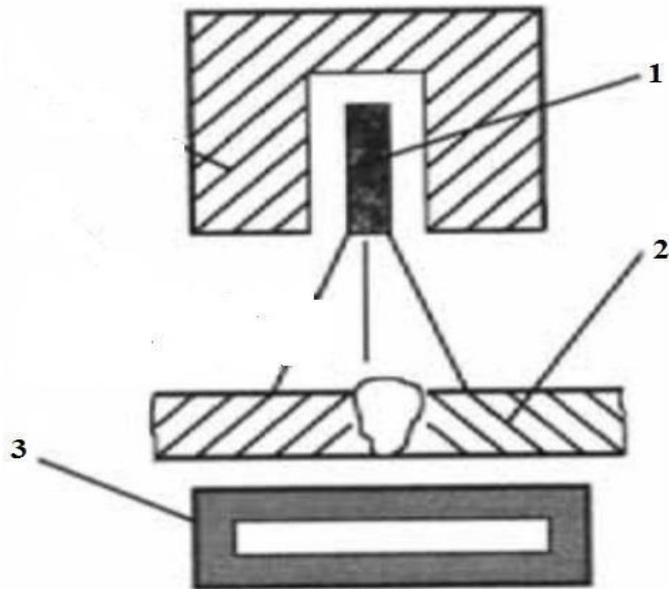


Fig. 4 – Radiation monitoring scheme:

1 – X-ray emitter; 2 – object of control; 3 – detector

Passing through the substance of the product, ionizing radiation weakens; this is due to the absorption and scattering of radiation in the material of the object. How much radiation is attenuated depends on the density and thickness of the test object, as well as on the energy of the emitter itself. The radiation intensity during its passage through the gas pore is attenuated less, because the thickness of the product in this place is less. With the passage of radiation, for example, through a tungsten inclusion, which arose during argon-arc welding, its intensity sharply decreases. In other words, the radiation transmitted by the test object carries information about the internal structure of the translucent object, which is represented as a shadow radiation image.

X-ray patterns

Figures 5-7 show the basic diagrams of radiography of welded joints (butt and corner) oil pipelines, process and auxiliary pipelines.

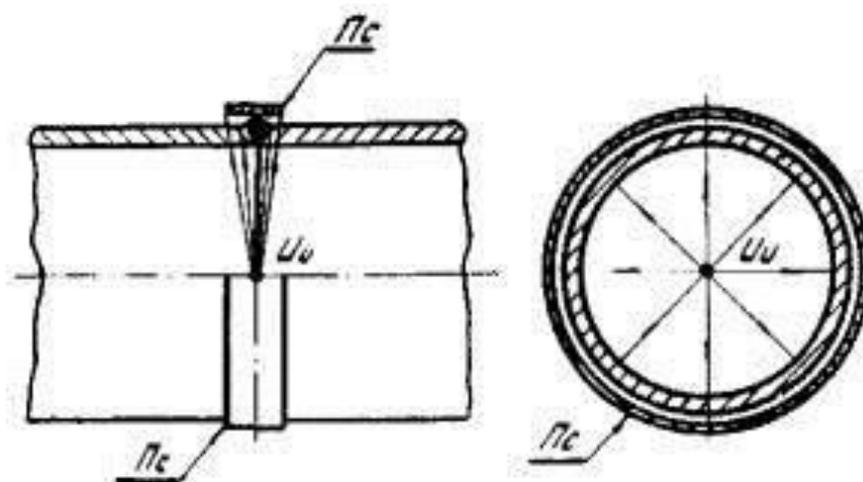


Fig. 5 – Panoramic scanning pattern:

Uu – radiation source; Πc – receiving device.

Ring seams of pipelines, junctions and pipe assemblies (welding of tees, elbows) shine through one of four schemes depending on the geometric dimensions of the pipes, type and activity of the radiation source used.

Ring welds of welded products, in which free access is possible inside, are monitored for one radiation installation according to the scheme shown in figure 5 (panoramic radiography).

The most common scheme of panoramic radiography is the installation inside the pipe of the radiation source on a moving platform, called a crawler. The radiation receiver, in this case, is installed on the outside of the pipe. Most often, X-raysensitive film acts as a receiver in some way attached to the test object.

The use of scintillator detectors, for example, based on cesium-iodine crystals, is promising as an X-ray detector. Such receivers are constructed similarly to a digital camera matrix and convert the shadow image of the test object into a digital form, more convenient for processing and storage.

Technical characteristics of the crawler are selected on the basis of the following parameters:

- diameter of the tube;
- wall thickness;
- sensitivity control;

- type of ionizing radiation receiver;
- ionizing radiation source;
- rate of construction of the linear part.

Welded connections of pipelines, which for any reason cannot be accessed from the inside, are controlled according to the scheme shown in figure 6 (frontal radiography). Translucence of such seams is carried out through two pipe walls for three or more installations of an ionizing radiation source. With this arrangement, the source and receiver of radiation are located on the outside of the pipe in antiphase to each other. The emitter is adjusted in such a way that the shadow image of the opposite side of the pipe and the seam falls into focus. The part of the seam, located in front of the radiator is eroded and is not registered on the receiver.

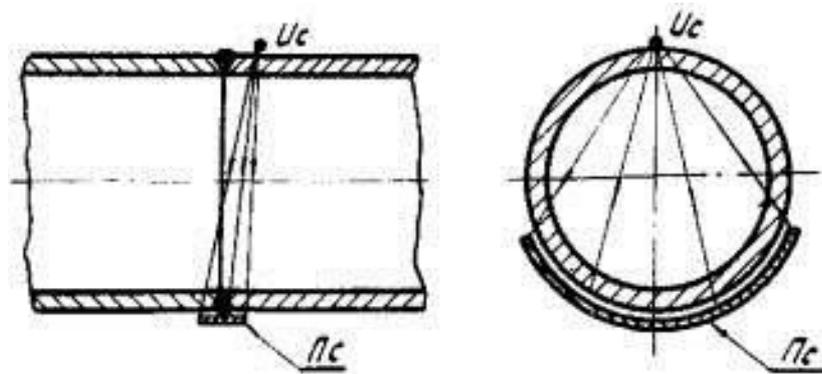


Fig. 6 – Frontal scanning pattern

The main parameters of transmission according to the scheme presented in figure 6:

- the radiation source is located directly on the pipe;
- the angle between the direction of radiation and the plane of the weld should not exceed 5° ;
- the focal length should be equal to the outer diameter of the tube;
- the minimum number of exposures is three. At each exposure, the radiation source should be shifted by an angle of no more than 120° .

According to the ellipse scanning pattern, the control is carried out, as a rule, in two settings, displacing the radiation source by 90° .

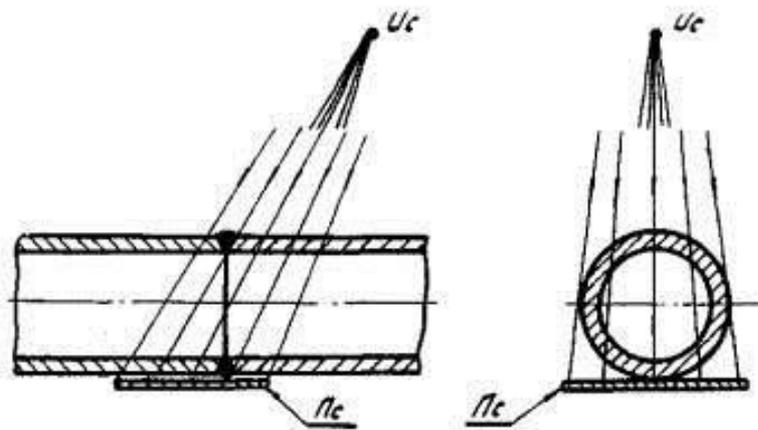


Fig. 7 – Scheme of radiographic «ellipse»

As a rule, special surface preparation of the welded joint is not required before radiographic inspection. However, in cases where the surface irregularities of the weld, metal splashes can damage the radiographic film, this surface should be cleaned.

After elimination of defects of the weld, identified by the results of the previous inspection, marking of the welded joint is performed. The weld bead is divided into separate sections; the beginning and the direction of numbering are specified in a specific sequence for each image.

In the monitored areas, sensitivity standards should be set so that each image has a complete image of the standard. With panoramic scanning of ring-shaped welded joints, it is allowed to set sensitivity standards, one for each quarter of the circumference of the welded joint.

To measure the depth of a defect by darkening it in a radiographic image by the method of visual or instrumental comparison with reference grooves or holes, use canal sensitivity standards or simulators. When determining the sensitivity of control, the calculation must be carried out according to the thickness of the pipe wall on which the sensitivity standards are set.

X-ray crawler

X-ray crawler is a self-propelled automatic complex used to control the quality of welded joints of various pipelines. It is a completely independent exhibiting device that does not need a wired connection and is capable of receiving commands for moving, stopping and taking radiographs from the outside using isotope and magnetic

devices.

The principle of operation is based on the conversion of X-rays transmitted through the test object into a digital image. The radiation generated by the X-ray apparatus affects the matrix of a flat panel detector, which consists of a scintillation screen and a silicon photodiode array. Under the influence of X-rays, the scintillation screen starts to glow. The luminous flux enters the silicon photodiode array of the detector, in which the luminous intensity is converted into an electric current, the signal of which is amplified and converted into a digital code. In the detector's electronic circuit, a digital image of the test object is generated and transmitted to the computer of the registration and control unit.

As a construction, an X-ray crawler is a complex that is powered by batteries and consists of separate modules designed to inspect pipes of various diameters. Control of the crawler with the help of external control devices is minimized due to possible pre-setting, allowing the crawler to be adapted to work in any pipeline.

Application in modern devices of microprocessor technology provides the possibility of high performance, reliability and ease of operation with the device. Placing the inside of the pipe allows you to control the circumferential weld for one installation, while using external devices it is necessary to conduct from two and more, for large diameters of pipes, installations of the device. In addition, using a crawler, there is no need to rearrange the X-ray tube on each welding seam, and the quality of the obtained image improves, since only one wall of the tube is visible.

Figure 8 is a schematic drawing of a crawler located inside the pipeline, explaining the principle of its operation.

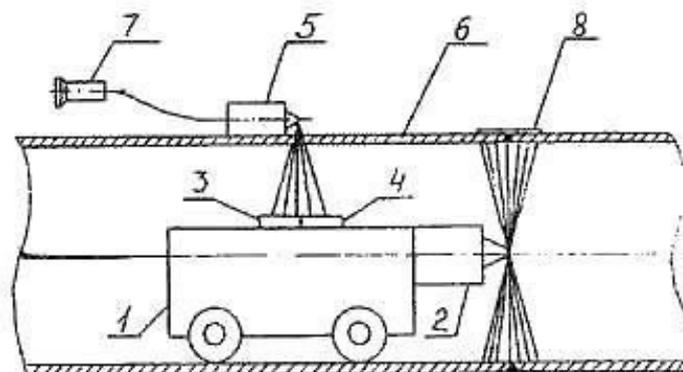


Fig. 8 – Scheme of the X-ray crawler:

1 – self-propelled truck; 2 – panoramic unit; 3,4 – ionization counters; 5 – command unit; 6 – pipe; 7 – remote control; 8 – radiation detector

As a receiver of penetrating radiation of the command apparatus, two ionizing counters are used in the crawler. Before the start of the movement of the selfpropelled trolley, the command device switches on with the help of the remote control. Thanks to a special collimator, it has a narrowly directed radiation pattern strictly inside the tube. When a command vehicle emits radiation to detector 3, the crawler slows down its movement, and when detector 4 is triggered, it stops at the position when the radiation focus of the panoramic apparatus is on a line perpendicular to the controlled pipe seam and X-ray film.