

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Тольяттинский государственный университет»

Институт машиностроения

(наименование института полностью)

Кафедра «Сварка, обработка материалов давлением и родственные процессы»

(наименование)

15.03.01 «Машиностроение»

(код и наименование направления подготовки, специальности)

«Современные технологические процессы изготовления деталей

в машиностроении»

(направленность (профиль)/специализация)

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)

на тему Совершенствование методики контроля при ремонте трубопровода

Обучающийся

Л.М. Новикова

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., доцент А.Ю. Краснопевцев

(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

Консультанты

к.э.н., доцент О.М. Сярова

(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

к.ф.-м.н., доцент Д.А. Романов

(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

Тольятти 2025

Аннотация

Существенное повышение эффективности проведения ремонтных работ на магистральных трубопроводах удастся достигнуть при внедрении новых технических средств по контролю и оценке состояния длительно эксплуатируемых трубопроводов, при этом производительность работ повышается на 2...5 % с перспективой повышения до 10 % только за счёт внедрения новых организационных решений по контролю качества, а за счёт внедрения новых методик контроля состояния трубопроводов повышение производительности ожидается в разы.

Таким образом, следует признать актуальным направление исследования и поставленную цель – повышение эффективности контроля состояния магистральных трубопроводов при их ремонте.

На основании анализа известных данных выполнена постановка задач на выпускную квалификационную работу. На основании анализа применяющихся методик диагностики состояния длительно эксплуатируемых магистральных трубопроводов предложено применить дальнедействующий ультразвуковой контроль, позволяющий выполнять проверку состояния поверхности труб одномоментно на протяжении нескольких десятков метров. Технические возможности предлагаемой методики доказываются в ходе литературного поиска и примеров положительного применения как зарубежом, так и в России. Для повышения эффективности метода предложено применить комплексный анализ состояния труб, сочетающий как диагностику с применением дальнедействующего ультразвукового контроля, так и стандартные методики контроля для уточнения параметров обнаруживаемых дефектов стенки трубы.

Выполнение оценочного экономического раздела позволило заключить, что внедрение в производство предлагаемых решений позволяет повысить экономические показатели предприятия. Таким образом, поставленная цель может считаться достигнутой.

Abstract

Significant increase in the efficiency of repair works on trunk pipelines can be achieved with the introduction of new technical means of control and assessment of the condition of long-operating pipelines, while the productivity of works increases by 2...5 % with the prospect of increasing up to 10 % only due to the introduction of new organisational solutions for quality control, and due to the introduction of new methods of controlling the condition of pipelines the increase in productivity is expected in times.

Thus, it is necessary to recognise the actual direction of research and the set goal - increase of efficiency of control of a condition of main pipelines at their repair.

«Based on the analysis of the known data the problem statement for the final qualification work is performed. On the basis of analysis of applied techniques of diagnostics of the condition of long-operating main pipelines it is proposed to apply long-range ultrasonic control, which allows to check the condition of the pipe surface at a time over several dozens of metres. Technical capabilities of the proposed method are proved in the course of literature search and examples of positive application both abroad and in Russia. To increase the efficiency of the method it is proposed to apply a complex analysis of the pipe condition, combining both diagnostics with the use of long-range ultrasonic control and standard control techniques to clarify the parameters of detectable defects of the pipe wall» [39].

Execution of the estimated economic section allowed to conclude that implementation of the proposed solutions in production allows to increase the economic performance of the enterprise. Thus, the set goal can be considered achieved.

Содержание

Введение	6
1 Анализ состояния диагностики и ремонта магистральных трубопроводов.	7
1.1 Описание трубопровода и возникающих дефектов.	7
1.2 Сведения о материале трубопровода.	11
1.3 Особенности технологии ремонтной сварки трубопровода.	13
1.4 Формулировка задач на выполнение выпускной квалификационной работы.	19
2 Повышение эффективности контроля состояния магистральных трубопроводов	20
2.1 Анализ содержания научных работ по выбранному направлению.	20
2.2 Анализ методик контроля длительно эксплуатируемых трубопроводов.	23
2.3 Проведение низкочастотной ультразвуковой диагностики на магистральном трубопроводе.	37
2.4 Методика комплексной оценки дефектности трубопровода.	45
3 Промышленная безопасность производственного участка.	49
3.1 Описание технологического объекта и постановка оценочной задачи	50
3.2 Идентификация негативных производственных факторов.	50
3.3 Нейтрализация негативных производственных факторов.	52
3.4 Пожарная безопасность производственного участка	54
3.5 Обеспечение экологической безопасности производственного участка.	56
4 Экономическая эффективность предлагаемых технических решений.	58
4.1 Исходные данные для экономического расчёта.	58

4.2 Фонд времени работы оборудования.	60
4.3 Расчёт штучного времени и годовой программы производства. .	61
4.4 Заводская себестоимость.	63
4.5 Капитальные затраты по рассматриваемым вариантам.	68
4.6 Расчёт изменяющихся технологических показателей.	70
Заключение	72
Список используемой литературы и используемых источников.	74

Введение

Длительная эксплуатация десятков тысяч километров магистральных газопроводов и нефтепроводов, которые проложены по территории Российской Федерации, заставляет решать вопросы, связанные с поддержанием трубопроводов в рабочем состоянии. При этом продолжительность беспроблемной эксплуатации, когда устранение возникающих дефектов не требуется или заставляет привлекать минимум материальных и временных ресурсов, составляет 25...30 лет, после чего стареющий магистральный трубопровод начинает требовать к себе повышенного внимания [7]. Крайней мерой, позволяющей на длительное время решить проблему стареющего трубопровода, является замена его линейной части на поврежденном участке, но это требует значительных затрат и в ряде случаев целесообразнее установка временных ремонтных конструкций, позволяющих продлить эксплуатацию имеющейся части трубопровода до принятия решения о её полной замене [8], [36]. Вопрос своевременного обнаружения возникающих дефектов трубопровода, их отслеживание и обоснованного принятия решения характере проведения ремонта является крайне актуальным, так как от его решения зависит эффективность функционирования всей трубопроводной отрасли Российской Федерации.

Существенное повышение эффективности проведения ремонтных работ на магистральных трубопроводах удастся достигнуть при внедрении новых технических средств по контролю и оценке состояния длительно эксплуатируемых трубопроводов, при этом производительность работ повышается на 2...5 % с перспективой повышения до 10 % только за счёт внедрения новых организационных решений по контролю качества, а за счёт внедрения новых методик контроля состояния трубопроводов повышение производительности ожидается в разы [20], [30], [32], [37].

В Российской Федерации согласно диссертационного исследования [16] приходится ежегодно контролировать и оценивать текущее состояние магистральных трубопроводов суммарной длиной в несколько десятков тысяч километров. При этом прибыть от реализации передаваемой по трубопроводу нефти или газа позволяет оплатить проведение ремонтных работ приблизительно на длине двух тысяч километров. Оставшаяся часть трубопровода для своего обслуживания требует привлечения сторонних средств. При этом необходимо опираться на внутренние источники финансирования, что заставляет в условиях недостатка внешнего финансирования повышать эффективность имеющихся в наличии средств контроля и ремонта [19], [38]. Усугубление ситуации с обеспечением работоспособности магистральных трубопроводов происходит по причине глобального потепления, что вызывает подвижки грунта, подтопление участков, на которых пролегает трубопровод, и повреждение на нем изолирующего покрытия, в результате чего коррозионные процессы на трубопроводе ускоряются. Также ускорение коррозионного разрушения стенки трубопровода происходит по причине протекания по нему вихревых токов, наводимых от деятельности человека. По данным работы [15] доля коррозионных повреждений в причинах выхода из строя магистральных трубопроводов с 1998 года по 2008 год повысилась с 20 до 30 %, что имеет причиной описанные выше явления. Также следует принимать во внимание, что в настоящее время в разряд стареющих переходят трубопроводы, выполненные из труб выпуска 1990х-2000х годов, когда требования к составу металла и качеству изготовления труб были намного ниже, чем сейчас. В результате имеющиеся в металле таких труб примеси становятся очагами их коррозионного разрушения [21], [22], [39], [40].

Таким образом, следует признать актуальным направление исследования и поставленную цель – повышение эффективности контроля состояния магистральных трубопроводов при их ремонте.

1 Анализ состояния диагностики и ремонта магистральных трубопроводов

1.1 Описание трубопровода и возникающих дефектов

В рамках выполнения настоящей выпускной квалификационной работы в качестве объекта исследования принята сеть магистральных трубопроводов, обслуживаемых ООО «Газпром трансгаз Нижний Новгород». Общая протяженность трубопроводов, которые подлежат поддержанию в работоспособном состоянии, составляет 13562 км. С использованием внутритрубной диагностики может быть выполнена оценка состояния порядка 60 % трубопроводов, что составляет 8073 км. Еще 40 % трубопроводов исследованию с применением внутритрубной диагностики не подлежат по конструктивным причинам. На рисунке 1 представлена диаграмма распределения рассматриваемых трубопроводов с точки зрения возможности проведения внутритрубной диагностики.

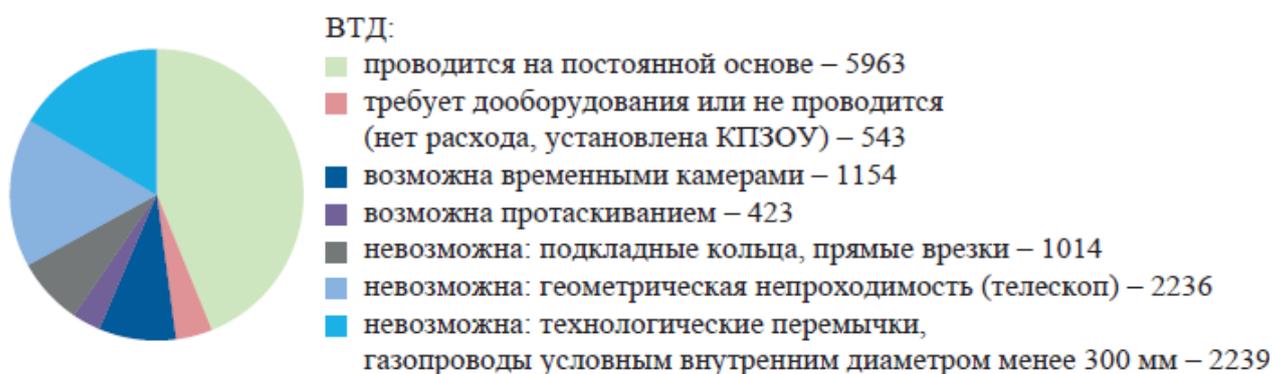


Рисунок 1 – Распределение трубопроводов с точки зрения возможности проведения внутритрубной диагностики

На рисунке 2 представлены данные по количеству обнаруживаемых дефектов на магистральных трубопроводах. При анализе статистики по обнаруживаемым дефектам следует принимать во внимание, что на ряде участков проводилась повторная проверка, в результате чего количество обнаруживаемых дефектов из года в год существенно отличается.

Проводили обследование участка магистрального трубопровода «Уренгой-Центр 1» протяженностью от 2519-го по 2584-й километр. По результатам анализа составлена таблица 1. Обследование проводили методом внутритрубной диагностики с последующим подтверждением непосредственного наблюдения состояния труб при помощи выполнения шурфов.

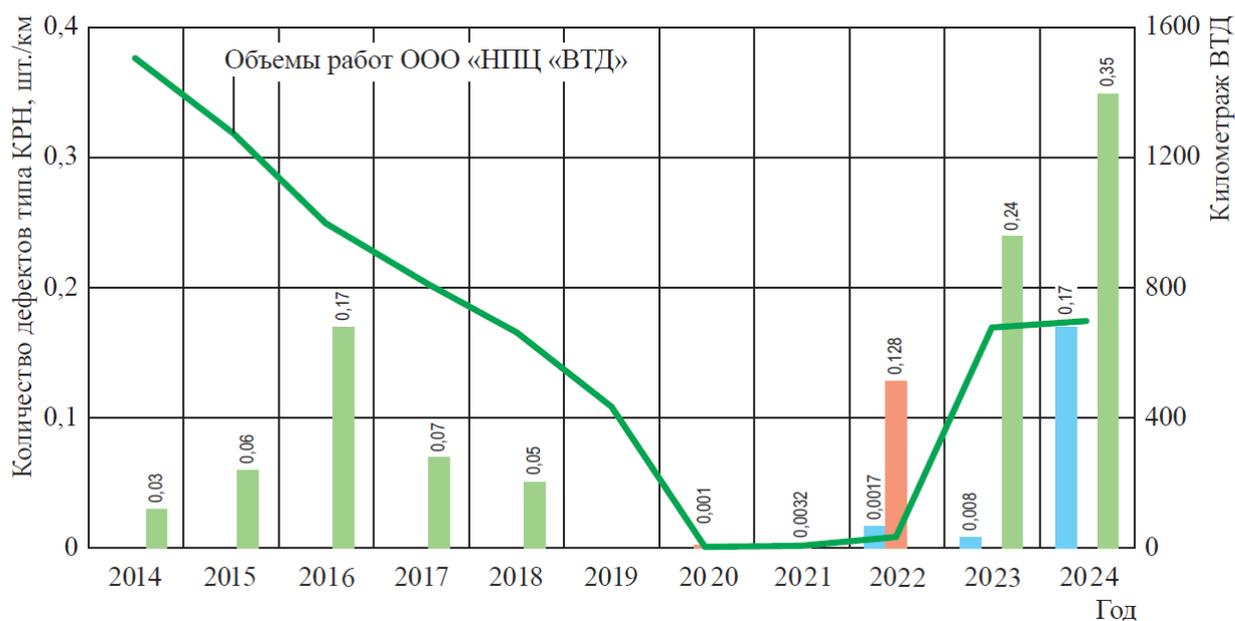


Рисунок 2 – Количество обнаруживаемых дефектов на трубопроводах

Самым ответственным этапом капитального ремонта магистральных трубопроводов является приборная дефектоскопия и отбраковка дефектных участков. Наиболее затратным с точки зрения трудовых и материальных ресурсов, а также с точки зрения ментального покоя работников является вырезка дефектного линейного участка и его транспортировка на несколько десятков или даже сотен километров для диагностирования состояния участка, если на нем обнаружены протяженные трещины коррозионного происхождения глубиной 0,5...0,7 мм. Определение глубины залегания трещины зачастую проводят вышлифовыванием дефектной части с определением остаточной толщины трубы. При этом наблюдается тенденция к тому, что каждая ремонтная организация проводит диагностику состояния труб с учетом конъюнктурных соображений исходя из возможности

проведения последующего ремонта. Отмечается, что экспертиза качества проведения ремонта и оценка состояния магистральных трубопроводов должны выполняться централизованно крупными предприятиями, что требует применения высокопроизводительных методов, позволяющих вести комплексную проверку сразу на протяженном участке трубопровода.

Таблица 1 – Результаты обследования состояния трубопровода

№ трубы	Наименование дефекта	Размеры дефекта, мм
632	Коррозия	950×150×6
	Зона продольных трещин	1130×135×2,7
2176	Коррозия	2200×130×6,1
2177	Зона продольных трещин	630×140×4,1
2460а	Коррозия	1200×260×5
	Зона продольных трещин	2130×170×2,8
2461	Коррозия	870×160×5
	Зона продольных трещин	720×110×5,1
2464	Зона продольных трещин	210×40×3,5
2583	Коррозия	1070×130×4
2633	Коррозия	870×160×5
	Зона продольных трещин	720×110×5,1
3158	Механическое повреждение	240×110×2,7
3159	Коррозия	1380×210×3,6
3171	Зона продольных трещин	1120×170×2,4

На рассматриваемом трубопроводе и аналогичных трубопроводах обнаружено повышение стресс-коррозионной активности, что заставляет продолжить мониторинг их состояния с ремонтом критических дефектов. В работе [7] рассматривается цепочка действий с последующим анализом каждого пункта: вскрытие линейного участка трубопровода, подлежащего диагностике и ремонту; подъем линейного участка на поверхность или обеспечение доступа к нему с применением технологий рытья; демонтаж с поверхности линейной части трубопровода старого изоляционного покрытия; исследование линейной части на предмет наличия недопустимых дефектов и общего уровня дефектности; проведение ремонта; нанесение нового защитного покрытия; укладка трубопровода в траншею и его засыпка; проведение испытаний.

1.2 Сведения о материале трубопровода

В настоящей выпускной квалификационной работе «рассматривается вопрос повышения эффективности ремонтных работ на длительно эксплуатируемых магистральных трубопроводах. До массового внедрения трубной стали повышенной прочности для строительства магистральных нефтепроводов и газопроводов широко применялась сталь 17Г1С-У, которая и в настоящее время широко применяется наравне со сталями более высокого класса» [23]. Рассматриваемая сталь позволяет получать трубы класса прочности К52, состав стали представлен в таблице 2.

Таблица 2 – Состав стали 17Г1С-У

C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	N	Cu	As
0.15 - 0.2	0.4 - 0.6	1.15 - 1.6	<0.3	<0.04	<0.035	<0.3	<0.008	<0.3	<0.08

Сталь 17Г1С-У позволяет эксплуатацию конструкций в диапазоне температур от -40 до + 475 °С. Сталь успешно работает в условиях повышенных давлений и широко применяется для изготовления труб.

При проектировании сварных конструкций и построении технологии сварки из заготовок рассматриваемой стали необходимо принимать во внимание снижение усталостной прочности вблизи концентраторов напряжений. Под действием знакопеременной нагрузки в стали 17Г1С-У происходит усталостное растрескивание, более интенсивное, чем в низкоуглеродистых сталях. Образующиеся при этом трещины развиваются в металле сварного шва и основном металле. Такими концентраторами являются дефекты, допущенные при выполнении сварных швов, [27], [28], [29], эти дефекты могут никак не проявлять себя в первые годы эксплуатации сварной конструкции, однако в дальнейшем происходит зарождение и быстрое развитие усталостных трещин, способных нарушить целостность конструкции трубопровода и привести к возникновению аварийной ситуации.

Еще одной особенностью сварки рассматриваемой стали по сравнению со сваркой низкоуглеродистых сталей является её восприимчивость к термическому циклу, в результате которого при неблагоприятных условиях в стали может наблюдаться укрупнение зерна и существенное снижение прочностных свойств, что отмечается в работах [26], [34]. «Это объясняется отрицательным действием содержащихся в металле элементов углерода и кремния, содержание которых по сравнению с низкоуглеродистой сталью в рассматриваемой стали выше» [26]. Также при сварке стали 17Г1С с применением стандартных сварочных материалов в зоне сварного шва может наблюдаться коррозионное растрескивание, что может быть устранено путем применения специализированных сварочных материалов с пониженным содержанием кремния и углерода. При выполнении сварных конструкций из рассматриваемой стали особое внимание следует уделить соблюдению техники сварки, от которой зависит термический цикл металла и свойства сварного соединения. Под действием термического цикла в процессе сварки в стали 17Г1С могут образовываться закалочные структуры, которые в общем случае равномерно распределены в ферритной фазе и не оказывают сколько-нибудь существенного отрицательного влияния на свойства сварного соединения. Однако, если техника сварки нарушается, неблагоприятные изменения термического цикла могут приводить к локальному перегреву и образованию зон с увеличенным количеством одинаково ориентированных закалочных структур, в которых в дальнейшем будет происходить образование трещин. Марганец и «кремний, содержание которых в рассматриваемой стали выше, чем в низкоуглеродистых сталях, усиливают это явление. В результате сварку трубопроводов из стали 17Г1С следует вести на пониженной по сравнению со сваркой низкоуглеродистых сталей погонной энергией. Для обеспечения прочности сварного шва на уровне прочности основного металла» [26] следует применять сварочные материалы с дополнительным легированием ванадием и ниобием, позволяющим уменьшить размер зерен сварного шва и повысить стойкость против трещин.

1.3 Особенности технологии ремонтной сварки трубопровода

Применительно к сварочным материалам предъявляют следующие требования. Для ремонтной сварки при исправлении дефектов коррозионного характера сварку ведут электродами с основным видом покрытия типа Э50А или Э60. Перед использованием электродов следует провести их приемочный контроль, в ходе которого на каждую партию электродов проверяется наличие сертификата завода-изготовителя, проверяется целостность упаковки и внешний вид электродов. Электродные стержни не должны иметь следов ржавчины, покрытие электродов не должно иметь сколов и вздутий. Диаметр электродов для заполнения разделки составляет 2,5...3,2 мм. Диаметр электродов для выполнения облицовочного слоя составляет 3...4 мм. Для заполнения разделки применяют электроды Э50А. Для выполнения облицовочного слоя применяют электроды Э60.

Для ремонтной сварки применяют сертифицированные сварочные выпрямители, в частности, представленный на рисунке 3 выпрямитель ВД-306, который должен быть оснащен дистанционным регулятором сварочного тока, позволяющим сварщику корректировать параметры режима, не удаляясь от места сварки.



Рисунок 3 – Сварочный выпрямитель ВД-306

Перед выполнением ремонтной сварки дефектное место на трубопроводе следует очистить от загрязнений, снега, пыли. Также необходимо удалить остатки ленты изоляционного покрытия.

При разделке дефекта удаляют поврежденный слой металла с заглублением в здоровый металл на 1 мм. Выборка поврежденного металла стенки трубы должна иметь овальную форму и гладкое дно, требования к размерам выборки представлены на рисунке 4. При переходе металла от стенки трубы к стенке основного металла должен быть «радиус не менее 60 мм. Параметры выборки характеризуются размером удаляемого дефекта D_k , размером выборки D , глубиной выборки h . Для разметки дефектного места под выборку применяются шаблоны» [32], накладываемые на поверхность трубы и имеющие возможность изгиба под радиус трубы. Остаточная толщина трубопровода контролируется при помощи представленного на рисунке 5 ультразвукового толщиномера А-1208. Также в месте исправления дефекта следует убедиться в отсутствии трещин и расслоений, в противном случае следует принимать отдельное решение о методе ремонта.

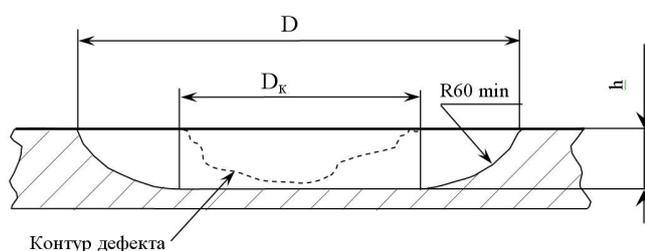


Рисунок 4 – Геометрия выборки дефектного места под ремонтную сварку



Рисунок 5 – Определение остаточной толщины трубопровода с применением ультразвукового толщиномера

«Выборку выполняют с применением представленной на рисунке 6 радиальной шлифовальной машины ИП-2014» [32].



Рисунок 6 – Радиальная шлифовальная машина

Перед сваркой после выполнения выборки необходимо провести предварительный подогрев участка трубопровода до температуры 100...130 °С, который согласно технологии проводят с применением пропанбутановых горелок. «Зона предварительного нагрева должна распространяться на 80 мм во все стороны от разделки, при помощи контактных термопар или бесконтактных датчиков температуры контролируют температуру нагрева стенки трубы в точках на расстоянии 15 мм от края выборки.

При заполнении разделки накладывают узкие валики. Сначала сваривают первый слой 1, потом выполняют заполняющие слои 2, потом выполняют контурный шов 3, потом выполняют облицовочный слой 4» [32]. Последовательность выполнения слоев при заполнении выборки представлена на рисунке 7.

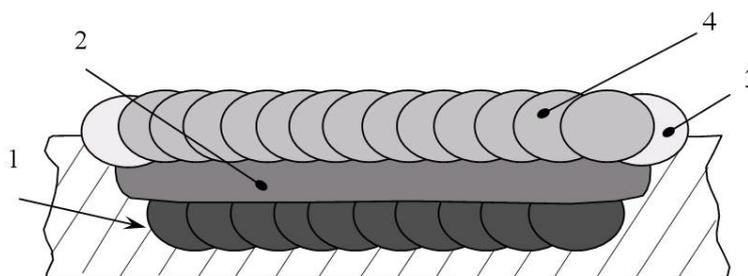


Рисунок 7 – Последовательность выполнения слоев

При сварке первого и всех последующих нечетных слоев накладывают валики «параллельно друг другу в поперечно направлению потока в трубе, как это показано на рисунке 8. Ширина каждого валика должна быть не более 10 мм, перекрытие валиков должно быть не менее 3 мм. Сварку следует вести «на подъем».

При сварке второго и всех последующих четных слоев проводят валиками, как показано на рисунке 13. Валики располагают параллельно друг другу в продольном направлении относительно потока в трубе. Ширина каждого валика должна быть не более 10 мм, перекрытие валиков должно быть не менее 3 мм» [32].

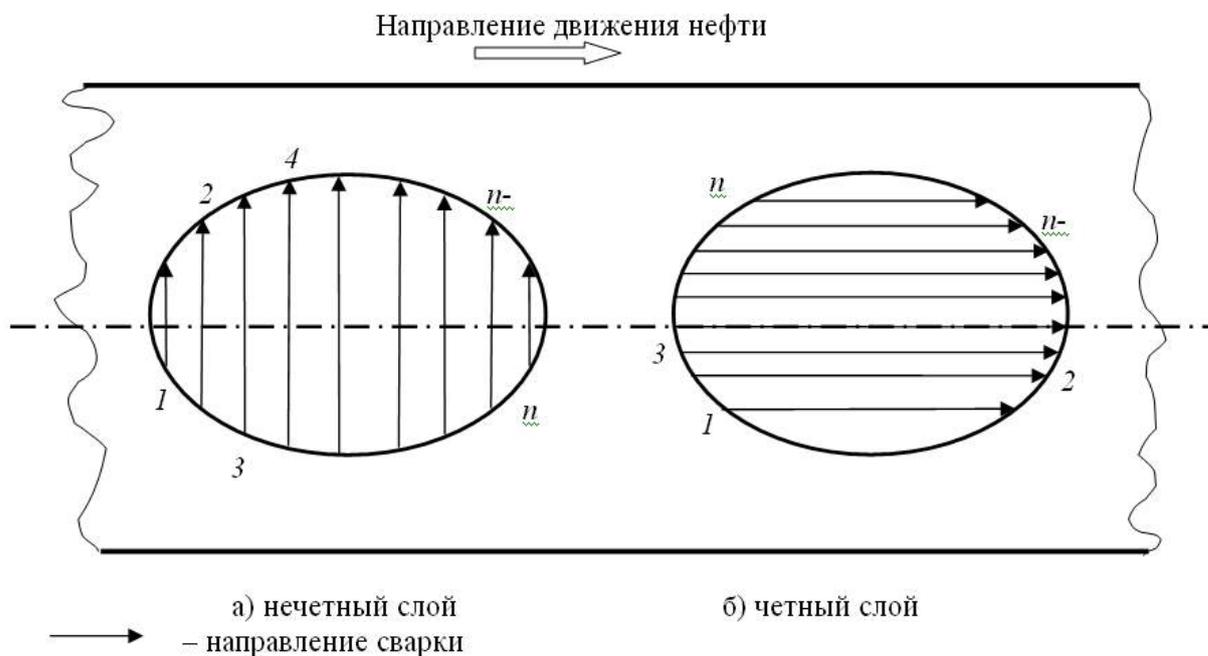


Рисунок 8 – Наложение слоев при ремонтной сварке

До выполнения облицовочного слоя следует наложить контурный шов. При варке контурного шва электрод ведут вдоль линии границы разделки с поперечными колебаниями перпендикулярно этой линии. Необходимо обеспечить ширину контурного шва в диапазоне 8...12 мм. Наплавленный металл контурного шва должен плавно переходить на основной металл трубы. Не допускается наличие в контурном шве подрезов на металле трубы.

«Сварку ведут на постоянном токе обратной полярности. Для сварки первого слоя применяются электроды» [32] типа Э50А диаметром 2,5 или 2,6 мм. Сила сварочного тока составляет 70...80 ампер при скорости сварки 1,25...1,40 мм в секунду. При сварке заполняющих слоев и контурного шва применяются электроды типа Э50А диаметром 3 или 3,2 мм. Сила сварочного тока составляет 100...120 ампер при скорости сварки 1,25...1,5 мм в секунду. При выполнении облицовочного слоя применяются электроды типа Э60 диаметром 3 или 3,2 мм. Сила сварочного тока составляет 100...120 ампер при скорости сварки 1,25...1,5 мм в секунду.

«Сварку ведут короткой дугой с поперечными колебаниями электрода. При остановке сварки следует выводить кратер на ранее наплавленный металл и тщательно его заглаживать. Выводить кратер на основной металл запрещено» [32]. Зажигание дуги следует выполнять на кромках или ранее наплавленном металле. Следует добиваться получения мелкой чешуйчатости сварного шва, при которой гребень превышает впадину не более 1 мм.

После выполнения заполнения выборки и завершения сварки облицовочного шва следует обработать поверхность наплавленного металла шлифовальным кругом, снимая усиление до 1...1,5 мм, далее до получения шероховатости Rz40 поверхность доводят напильником и дисковой металлической щеткой. На рисунке 9 представлена параметры наплавленного металла после механической обработки.

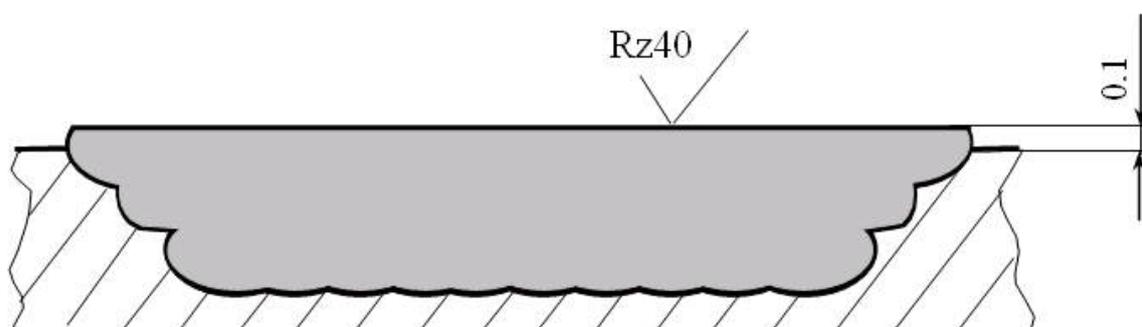


Рисунок 9 – Параметры наплавленного металла после механической обработки

«При проведении неразрушающего контроля выполняют визуальный и измерительный контроль, ультразвуковой контроль, контроль проникающими веществами» [32].

При проведении визуального и измерительного контроля длина контролируемого участка трубы не должна быть менее чем на 100 мм больше длины дефектного участка. При проведении ультразвукового контроля и контроля проникающими веществами контролируемая площадь должна покрывать площадь дефектного участка на 50 мм во все стороны.

Для проведения ультразвукового контроля применяется представленный на рисунке 10 дефектоскоп Olympus NDT 1000i.



Рисунок 10 – Ультразвуковой дефектоскоп Olympus NDT 1000i

При проведении контроля определяется наличие в наплавленном металле и металле около ремонтируемого участка поверхностных дефектов (незаваренные кратеры, подрезы, свищи, выходящие на поверхность трещины) и внутренних дефектов (расслоения, несплавления, трещины, поры, шлаковые включения).

Следует отметить основную трудность, которую испытывает ремонтное предприятие при обслуживании трубопровода – это высокая трудоемкость контроля состояния трубопровода при обнаружении и идентификации дефектов его стенки сварных швов.

1.4 Формулировка задач на выполнение выпускной квалификационной работы

Настоящая выпускная квалификационная работа направлена на повышение эффективности оценки состояния и сохранения работоспособности длительно эксплуатируемых магистральных трубопроводов. Объектом исследования в рассматриваемой выпускной квалификационной работе выступает магистральный нефтепровод, выполненный из труб диаметром 1024 мм. Срок эксплуатации трубопровода на момент проведения контроля его состояния 30 лет. Материал трубопровода – сталь 17Г1С. В ходе эксплуатации стареющего трубопровода в нем происходит непрерывное образование и развитие коррозионных поражений стенки. Кроме того, начинают проявлять себя дефекты сварного стыка и продольного шва на трубе.

Достижение поставленной цели будет возможно при последовательном решении ряда задач. Первой задачей является анализ методик диагностики состояния магистральных трубопроводов с основным упором на методики высокопроизводительного контроля по длине участка. Второй задачей является повышение эффективности выбранной методики контроля состояния магистрального трубопровода. В ходе выполнения оценочных разделов настоящей выпускной квалификационной работы предстоит выполнить идентификацию опасных и вредных факторов, которые возникают при реализации проектной технологии, после чего необходимо оценить возможность их нейтрализации имеющимися в наличии предприятия средствами [2], [10]. «Также необходимо оценить изменение экономических показателей производства при реализации проектной технологии по сравнению с показателями производства при реализации базовой технологии, на основании чего следует сделать вывод об эффективности предлагаемых решений» [14], [18].

2 Повышение эффективности контроля состояния магистральных трубопроводов

2.1 Анализ содержания научных работ по выбранному направлению

Достижение поставленной цели требует многократного повышения производительности и снижения трудоемкости мониторинга состояния длительно эксплуатируемых магистральных трубопроводов. Для выработки технических решений необходимо изучить опыт в области контроля качества магистральных трубопроводов, который в значительном объеме накоплен мировой и российской сварочной наукой. Поиск источников научно-технической информации предлагается вести в сети ИНТЕРНЕТ по базам знаний. Первая база знаний «ПАТОНПАБЛИШ» содержит информацию по разработкам и результатам внедрения сварочных технологий на предприятиях Украины, в основном в этой базе знаний представлен широкий пласт разработок сотрудников Института электросварки им. Е. О. Патона. Второй базой знаний является «Киберленинка», которая представляет собой электронную библиотеку публикаций по техническим наукам, доступных для бесплатного скачивания, база знаний снабжена удобным поисковым и фильтрационным механизмом, позволяющим вести поиск по интересующей тематике. Третьей базой знаний является «Е-лайбрери», в этом портале содержится информация о всех российских ученых и их публикациях, значительное количество публикация свободно для бесплатного скачивания и условно-бесплатного скачивания. Четвертой базой знаний является «Диссеркэт», в которой содержится информация о научных диссертациях, защищенных российскими учеными по различным тематикам, имеется возможность бесплатного получения текстов диссертаций и авторефератов. Таким образом, после проведения поиска по указанным базам знаний мы

получим возможность выполнить предварительный отбор методик диагностики состояния трубопроводов и оценить их эффективность.

В первой работе [24] рассматриваются вопросы повышения эффективности выполнения ремонта на магистральных трубопроводах за счёт оценки приоритетности вывода участка трубопровода в ремонт и обоснованного назначения метода ремонта. Для оценки предлагается применить показатель приоритетности P , в зависимости от значения которого принимается решение о рекомендуемом методе ремонта. В случае, если значение P меньше 0,2...0,3, для исправления дефектов рекомендуется выборочный ремонт участков. В случае, если показатель P лежит в диапазоне от 0,2...0,3 до 0,5...0,7 рекомендуется переизоляция трубопровода. В случае, если значение показателя P превышает предел 0,5...0,7 необходимо рассмотреть вопрос замены всего участка трубопровода. Также в работе показана проблема контроля состояния трубопроводов. 40% магистральных трубопроводов не позволяют проводить внутритрубную диагностику, и для из диагностики следует применять другие способы инструментальной оценки состояния. Для оценки приоритетности вывода участка трубопровода в ремонт предлагается методика оценки начальных условий и полученных данных, схематично представленная на рисунке 11.

В качестве резерва для повышение эффективности технологий поддержания работоспособности стареющих магистральных трубопроводов рассматривается повышение производительности оценочных работ, которые составляют значительную часть от общей трудоёмкости.

В работе [13] сотрудниками Омского государственного университета изучены вопросы обнаружения дефектов при «контроле состояния магистральных трубопроводов с применением активного виброакустического контроля. В статье представлены принципы построения измерительных систем и результаты испытаний на участках магистральных трубопроводов» [13]. Сущность предлагаемого способа схематично представлена на рисунке 12. Происходит возбуждение последовательности импульсов на оболочке

трубы, на другом конце контролируемого участка измеряют и анализируют полученный виброакустический сигнал.



Рисунок 11 – Показатели приоритетности вывода в ремонт рассматриваемого участка трубопровода

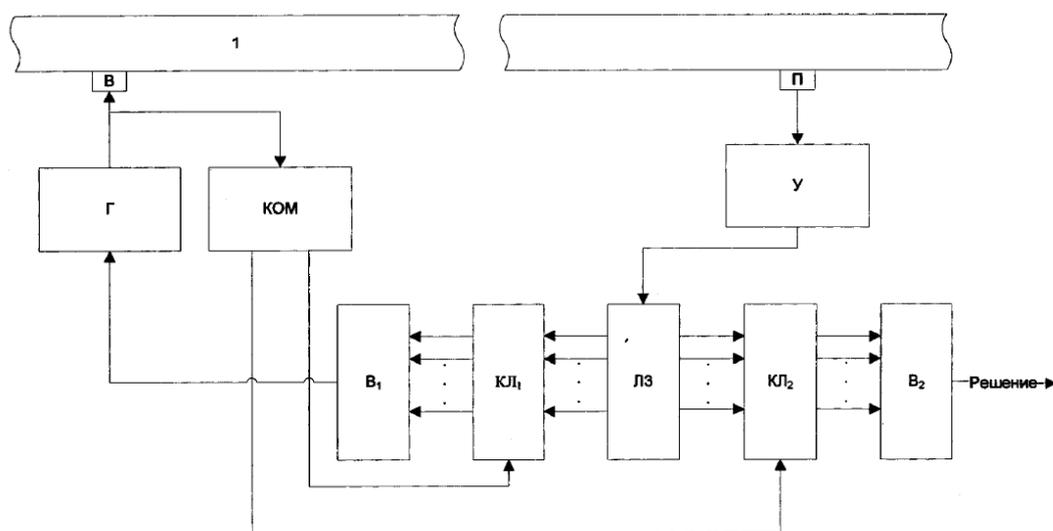


Рисунок 12 – Структурная схема виброакустического контроля

Контролируемый трубопровод представлен на схеме позицией 1. Виброакустические сигналы подают в трубу возбудителем В от генератора сигналов Г. Прием сигналов происходит посредством приемника П, которого информация о величине сигнала поступает на усилитель У и далее на линию задержки ЛЗ. В процессе прохождения виброакустического импульса по длине трубопровода происходит его затухание и изменение по форме и фазе, оценка такого изменения позволяет судить о присутствующих на стенке трубы дефектах. После окончания работы генератора Г коммутатор КОМ открывает ключ КЛ₂, что позволяет подать в вычислитель В₂ информацию о поступающем сигнале. Во время отключенного состояния генератора Г коммутатор КОМ открывает ключ КЛ₁, в результате чего шумовой сигнал поступает на вычислитель В₁ и далее учитывается в работе устройства. Поочередная подача сигналов во включенном и выключенном состояниях генератора позволяет суммировать и накапливать полезный сигнал, выделяя его из шумового сигнала. Следует признать высокую перспективность виброакустического метода контроля состояния трубопроводов, однако он позволяет в основном обнаруживать протечки и несанкционированные врезки, к дефектам стенки труб он характеризуется малой чувствительностью.

В работе [4] показана высокая эффективность диагностики состояния длительно эксплуатируемых трубопроводов с применением внутритрубного поршня «Rozen», который представлен на рисунке 13. Движение такого поршня внутри трубы обеспечивается потоками перекачиваемого продукта. Комплекс внутритрубной диагностики позволяет обнаруживать такие дефекты, как обширная и язвенная коррозия стенки трубы, дефекты сварного шва стыка труб, дефекты продольного заводского шва трубы, расслоения стенки трубы. Комплекс позволяет определять расположение, вид и размеры дефектов. В ходе диагностики состояния магистральных газопроводов ГК «Укртрансгаз» установлено что приблизительно 10,8 % всех сварных стыков имеют дефекты. Также выявлено значительное количество коррозионных поражений стенки трубы, потеря металла 20...40 % стенки наблюдается в 45 % случаев, потеря металла 41...60 % наблюдается в 5 % случаев, потеря металла более 60 % толщины стенки трубы наблюдается в 0,9 % случаев.



Рисунок 13 – Внутритрубный поршень для ультразвуковой диагностики состояния трубопровода

Сварочные операции, планируемые при построении проектного технологического процесса, должны задаваться исходя из устраняемого дефекта, при этом следует исходить из необходимости получения минимального количества повторных дефектов, возникающих в ходе выполнения самой ремонтной сварки.

В Российской Федерации согласно диссертационного исследования [16] приходится ежегодно контролировать и оценивать текущее состояние магистральных трубопроводов суммарной длиной в несколько десятков тысяч километров. При этом прибыть от реализации передаваемой по трубопроводу нефти или газа позволяет оплатить проведение ремонтных работ приблизительно на длине двух тысяч километров. Оставшаяся часть трубопровода для своего обслуживания требует привлечения сторонних средств. При этом необходимо опираться на внутренние источники финансирования, что заставляет в условиях недостатка внешнего финансирования повышать эффективность имеющихся в наличии средств контроля и ремонта [19]. Усугубление ситуации с обеспечением работоспособности магистральных трубопроводов происходит по причине глобального потепления, что вызывает подвижки грунта, подтопление участков, на которых пролегает трубопровод, и повреждение на нем изолирующего покрытия, в результате чего коррозионные процессы на трубопроводе ускоряются. Также ускорение коррозионного разрушения стенки трубопровода происходит по причине протекания по нему вихревых токов, наводимых от деятельности человека. По данным работы [7] доля коррозионных повреждений в причинах выхода из строя магистральных трубопроводов с 1998 года по 2008 год повысилась с 20 до 30 %, что имеет причиной описанные выше явления. Также следует принимать во внимание, что в настоящее время в разряд стареющих переходят трубопроводы, выполненные из труб выпуска 1990-2000х годов, когда требования к составу металла и качеству изготовления труб были намного ниже, чем сейчас. В результате имеющиеся в металле таких труб примеси становятся очагами их коррозионного разрушения [21], [22].

В настоящее время приблизительно 50...60 % «магистральных трубопроводов, проложенных по территории Российской Федерации, имеют срок службы более 30 лет и могут быть отнесены к стареющим трубопроводам» [25], [33]. Причиной зарождающихся дефектов при

длительной эксплуатации трубопроводов согласно работе [23] выступает заводской брак, допущенный при изготовлении трубы, на который приходится порядка 32 % всех аварий на трубопроводах. На долю возникающих в стенке трубы коррозионных дефектов приходится еще 22 % всех аварий на трубопроводах. По причине механического воздействия на стенку трубы происходит 18 % аварий. По причине допущенных при строительстве трубопровода дефектов возникает 7 % всех аварий. Ещё 21 % аварийных ситуаций возникает по иным причинам. Статистика по авариям на магистральных трубопроводах согласно работе [23] представлена на рисунке 14.

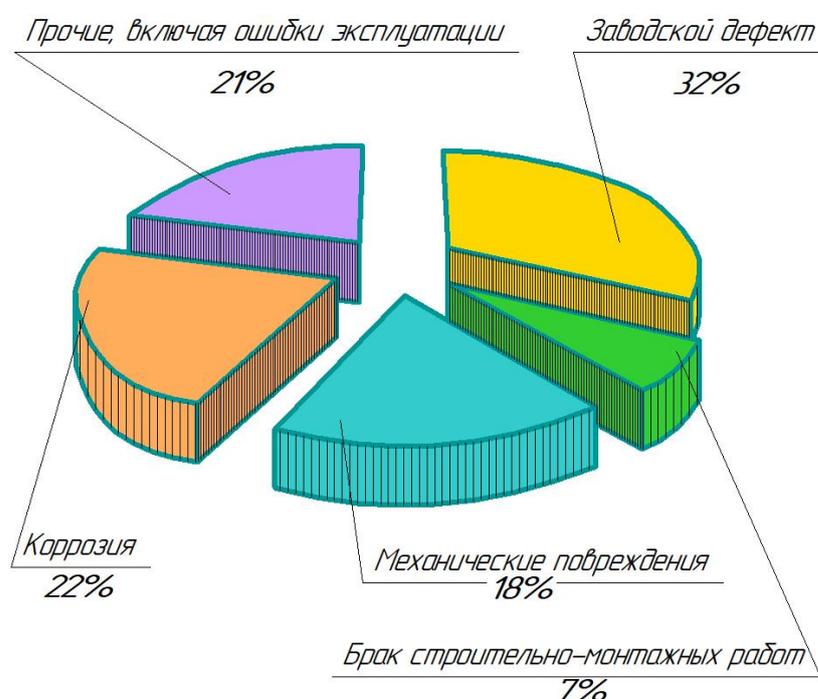


Рисунок 14 – «Статистика по причинам аварийных ситуаций на магистральных трубопроводах Российской Федерации согласно исследованию» [23]

При этом одним из самых распространенных и критических с точки зрения принятия решения о характере проводимого ремонта является дефект в виде коррозионного поражения стенки трубы, величина которого зависит от продолжительности эксплуатации трубопровода. При эксплуатации трубопровода на протяжении 10 лет поражение стенки трубы составляет

20...25 % и доля такого дефекта в общем количестве обнаруживаемых дефектов составляет всего 5 %. При эксплуатации трубопровода в течение 20 лет поражение стенки трубы составляет 20...30 %, а доля такого дефекта в объеме обнаруживаемых дефектов увеличивается до 40%. При эксплуатации трубопровода в течение 30 % поражение стенки трубы составляет 40...40 % при доле таких дефектов 40 % в общем объеме обнаруживаемых дефектов [23].

Поддержание работоспособности магистрального трубопровода предусматривает ряд мероприятий, схема проведения которых в зависимости от возраста трубопровода представлена на рисунке 15. В течение первых 33 лет эксплуатации трубопровод проходит амортизационный срок службы, при этом работы по его ремонту финансируются из амортизационных отчислений, которые в соответствии с действующим законодательством не подлежат облаживанию налогом. Дальнейшая эксплуатация проходит в зависимости от обнаруживаемых дефектов и возможностей обслуживающего предприятия до 40...45 лет после строительства трубопровода, что считается технически обоснованным (базовым) сроком. В течение этих лет работа трубопровода требует мониторинга его состояния и проведения своевременного ремонта при достижении дефектов критического состояния.

Далее начинается период эксплуатации трубопровода по его техническому состоянию, который длится ещё до 45...60 лет с даты строительства трубопровода. В течение этого периода возрастает роль процессов диагностики состояния и устранения дефектов.

После этого периода наступает завершающий период эксплуатации, в течение которого трубопровод может эксплуатироваться свыше 60 лет.

На рисунке 16 представлены результаты анализа причин аварий на магистральных трубопроводах в разрезе длительности эксплуатации, из которого видно, что относительно спокойным с точки зрения аварийности является период 5...17 лет, после чего ожидается увеличение вероятности возникновения аварии в результате накопления повреждений в процессе работы.

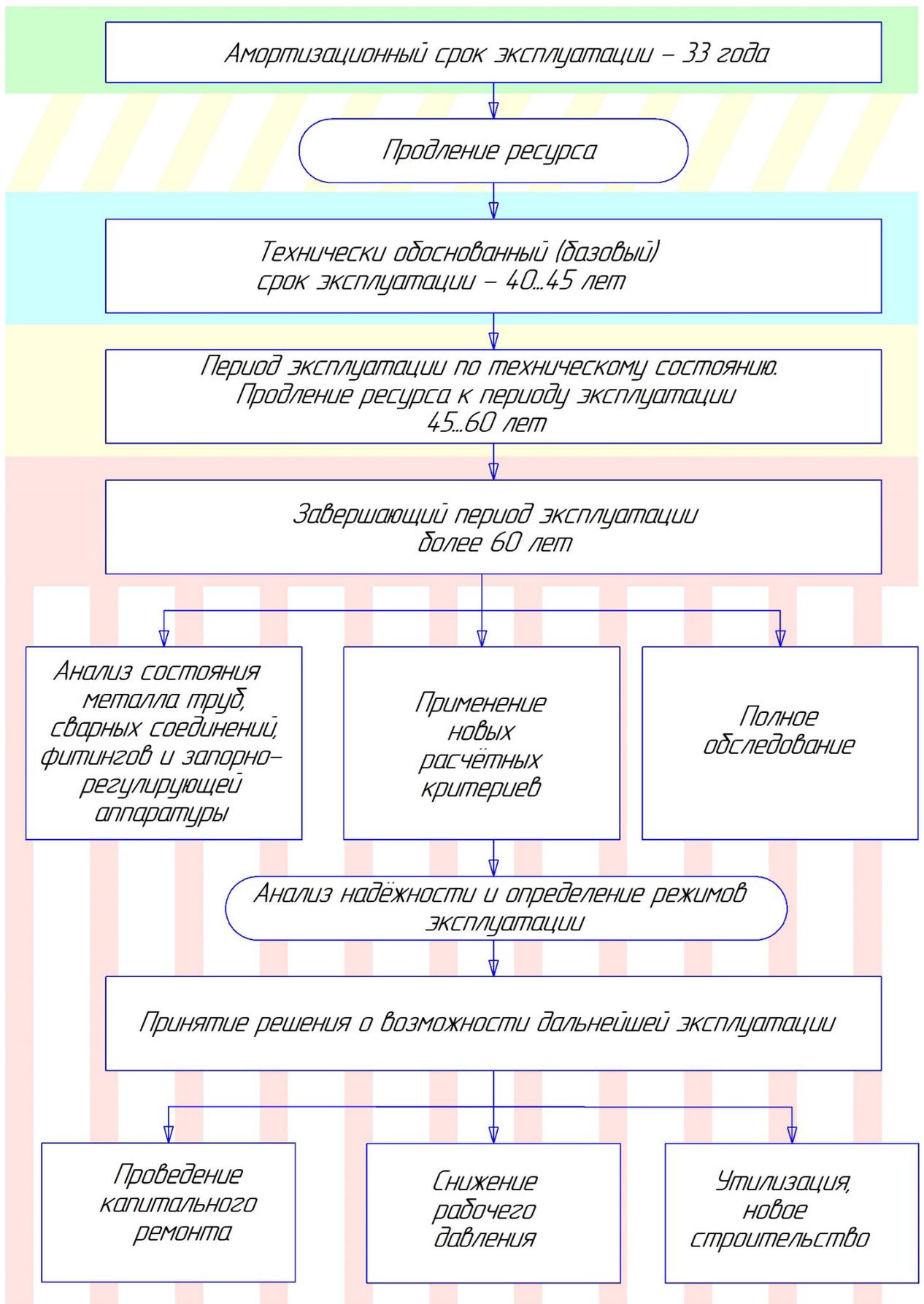


Рисунок 15 – Периоды эксплуатации трубопроводов по сроку службы

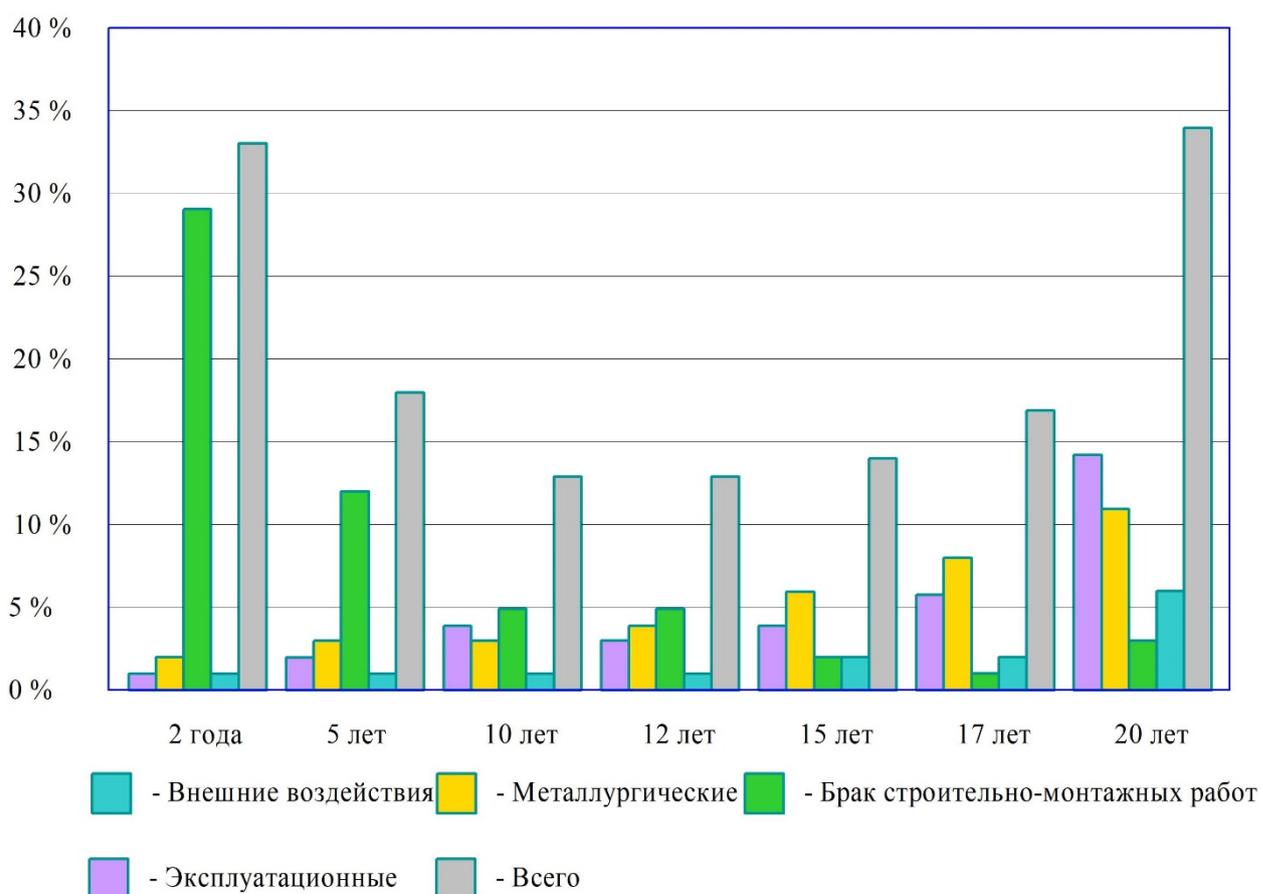


Рисунок 16 – Статистика по причинам аварии на трубопроводах в зависимости от срока эксплуатации

«При длительной эксплуатации трубопровода начинают проявлять себя дефекты сварки, которые возникли в процессе строительства и ремонтных работ, но не были обнаружены при проведении контроля качества. Такими дефектами являются поры, смещение кромок, подрезы, шлаковые включения. При анализе места аварии такие дефекты часто обнаруживаются в зоне разрушения, статистка по таким дефектам представлена на рисунке 17. Вероятность обнаружения дефекта различными методами контроля представлена на рисунке 18» [23].

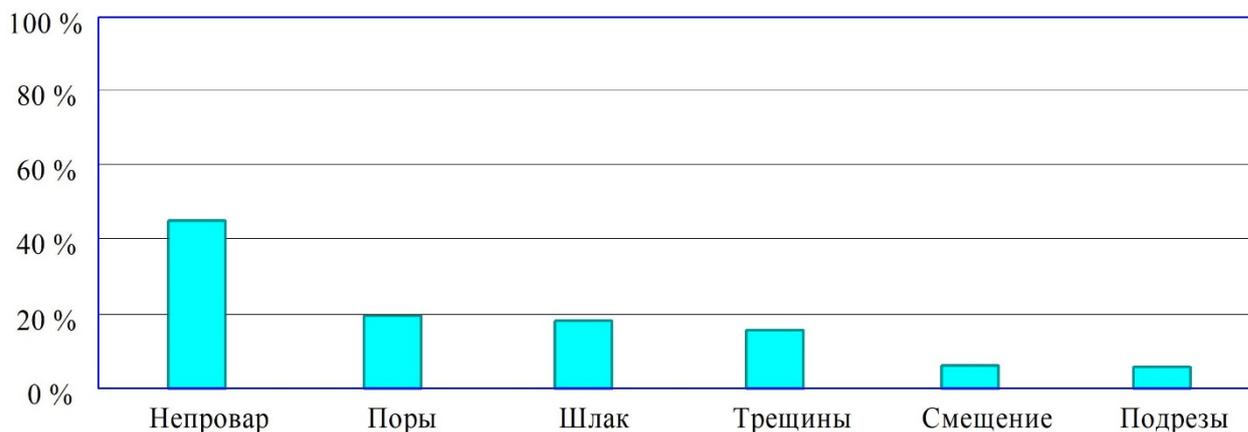


Рисунок 17 – Статистика по дефектам, обнаруживаемым в месте аварийного разрушения трубопровода

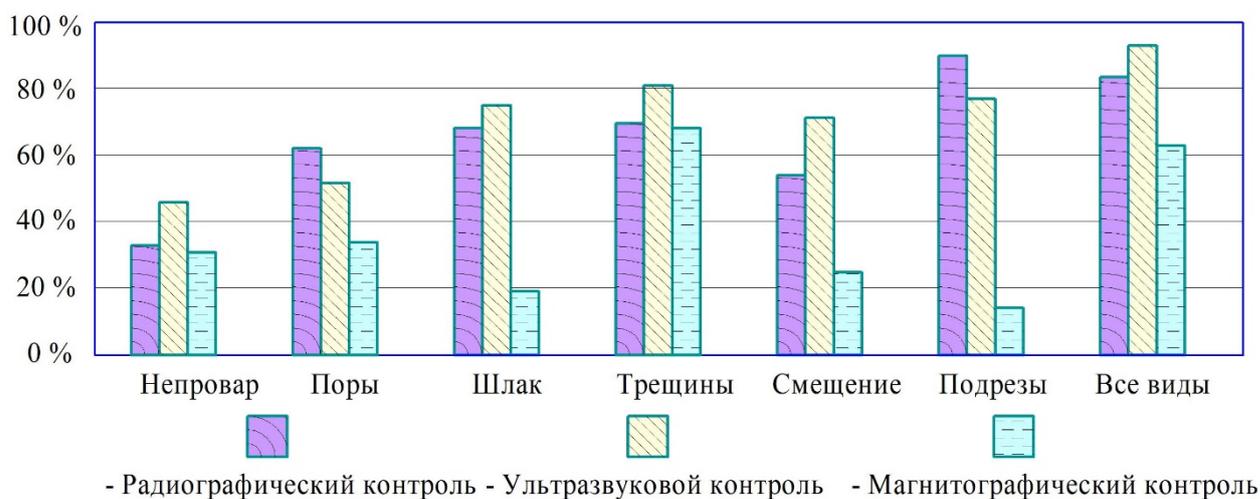


Рисунок 18 – Выявляемость дефектов при применении различных методов контроля

При выполнении ремонта магистральных трубопроводов значительная роль в повышении эффективности работы обслуживающего предприятия отводится механизации и автоматизации операций контроля. В работе [11] на примере внедрения достижений в области механизированного ультразвукового контроля состояния магистральных трубопроводов на объектах ООО «Стройгазмонтаж» показана высокая эффективность предлагаемых решений и обозначены направления дальнейшего развития методик контроля. Внедрение ультразвукового контроля и повышение его достоверности, позволяет сократить или даже полностью отказаться от проведения рентгеновского контроля качества, что позволяет устранить ряд

проблем, связанных с обеспечением безопасности труда. При оценке состояния трубопровода ультразвуковыми методами необходимо решение вопроса изоляции, присутствующей на поверхности труб по всей длине трубопровода. Необходимо внедрение таких методов, которые позволяют не снимать эту изоляцию, так как в противном случае трудоемкость проведения контроля катастрофически увеличится. Также следует принимать во внимание, что при автоматизированном ультразвуковом контроле качества выявляется значительное количество дефектов, для одномоментного исправления которых потребуется привлечение значительных ресурсов, что является нерациональным. Более приемлемый вариант – это оценка текущего состояния трубопровода и наблюдение развития дефектов, при этом дефект следует устранять только при его переходе в критическое состояние, что позволяет продлить срок службы трубопровода с минимальным количеством ремонтных работ.

В работе [9] показано, что каждый год для поддержания работоспособности газовой отрасли приходится контролировать порядка 200 тысяч стыков труб. Необходимость автоматизации контроля состояния стыков и линейной части на магистральных трубопроводах отмечается на ряде конференций и отраслевых совещаний, ведется интенсивная разработка нормативной документации и поиск новых методик контроля. На рисунке 19 представлено проведение квалификационных испытаний на опытно-экспериментальной площадке ООО «Газпром ВНИИГАЗ».



Рисунок 19 – Работа экспериментальной площадки ООО «Газпром ВНИИГАЗ»

В диссертационном исследовании [6] изучена динамика развития во времени картины дефектности при длительной эксплуатации магистральных трубопроводов, отображенная на рисунке 20.

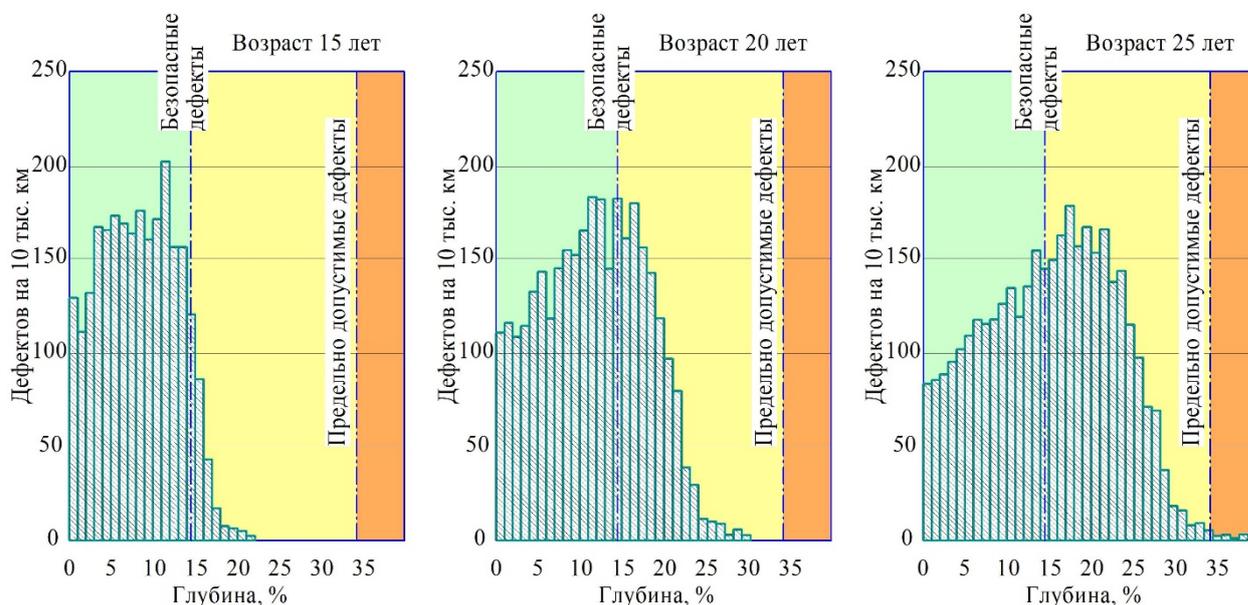


Рисунок 20 – Динамика накопления дефектов в ходе длительной эксплуатации магистрального трубопровода

В процессе длительной эксплуатации происходит накопление массива дефектов, при этом все большая часть дефектов начинает приобретать критический и закритический уровень, требуя исправления.

Таким образом, неутешительная статистика по дефектности стареющих трубопроводов позволяет заключить, что в процессе их эксплуатации происходит интенсивное образование коррозионных дефектов стенки трубы, которые по мере эксплуатации увеличиваются по площади и глубине поражения, становясь критическими. Кроме того, по мере эксплуатации трубопровода начинают проявлять себя допущенные при строительстве дефекты сварки, а также дефекты продольного шва трубы, допущенные при её изготовлении на заводе. Вопросам отслеживания и своевременного исправления таких дефектов посвящена дальнейшая выпускная квалификационная работа.

2.2 Анализ методик контроля длительно эксплуатируемых трубопроводов

По причине высокой степени износа трубопроводного транспорта, применяемого для передачи нефтепродуктов, остро стоит проблема повышения достоверности методик оценки состояния длительно эксплуатируемых трубопроводов. Как показывает практика эксплуатации ремонта магистральных трубопроводов, причиной наступления предельного состояния стенки трубопровода является накопление микроструктурных дефектов в зоне, где наблюдается концентрация пластических деформаций. Такими зонами являются локальные участки линейной части, на которых наблюдается действие знакопеременных нагрузок и коррозионное воздействие. Таким образом, причиной потери работоспособности магистрального трубопровода становится повреждение на локальном участке, а не деградация металла по всей протяженности трубы [12], [17].

В настоящее время наиболее распространенным способом контроля состояния магистральных трубопроводов является внутритрубная диагностика [1], [5], особенности проведения которой были описаны ранее.

От всех методик, применяемых для контроля состояния линейной части, требуется обеспечение следующих функций. Во-первых, необходимо достоверно определять наличие внутренних и внешних дефектов стенки трубы и оценивать состояние сварных швов. Во-вторых, необходимо не только определять наличие дефектов, но и их геометрические характеристики, а также иметь возможность отслеживания их изменения во времени. В-третьих, необходимо достоверно определять наличие утечек. В-четвертых, по результатам диагностики должны обнаруживаться места деформации стенки трубы.

«Наиболее часто применяются такие методы контроля: визуальный и измерительный, ультразвуковой, магнитный, капиллярный.

На основании визуального и измерительного метода контроля могут быть обнаружены такие дефекты, которые видны человеческому глазу. Для проведения контроля применяется простейшее измерительное оборудование и лупа.

При ультразвуковом контроле состояния стенки трубы используются различные дефектоскопы, способ может быть применен как методом эхолокации, так и теневым методом. Применение эхо-метода основано на анализе сигнала, который был отправлен от детектора к объекту исследования» [5]. Применение этого метода делает возможным обнаружение как поверхностных, так и расположенных в глубине стенки трубы дефектов. Расшифровка сигнала с применением современного оборудования представлена на рисунке 21.

При реализации теневого метода применяют располагаемые напротив друг друга источник и приемник ультразвуковых волн, наличие дефекта обнаруживается по изменению скорости распространения звуковой волны.

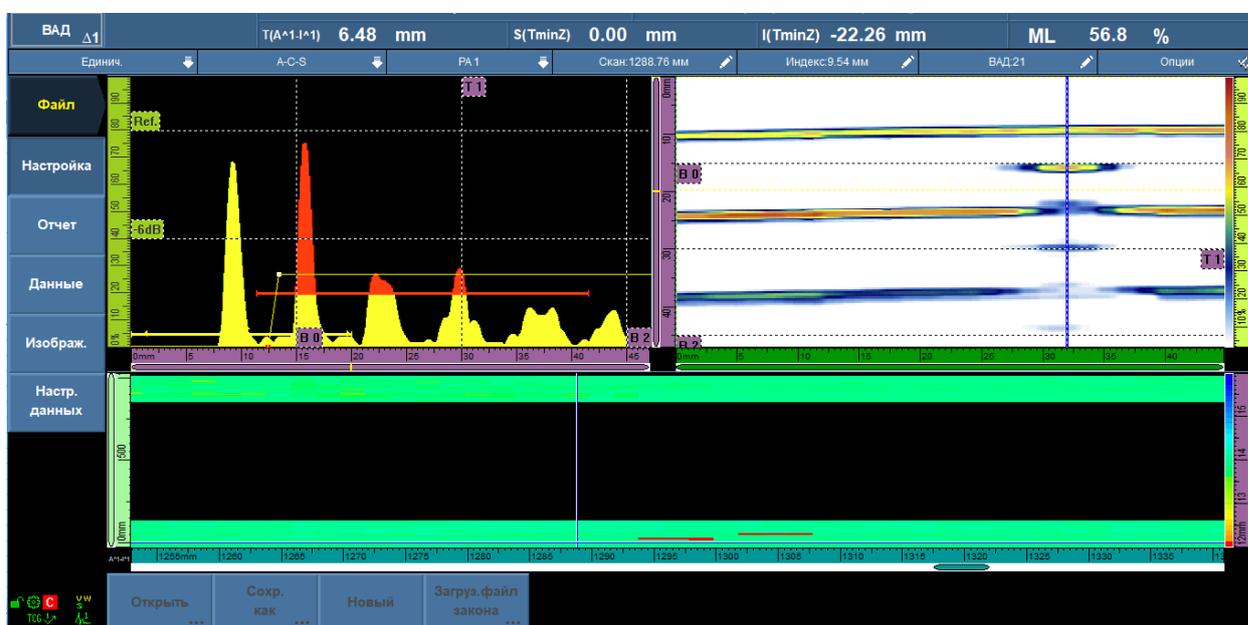


Рисунок 21 – Пример обработки эхо-сигнала при ультразвуковом исследовании состояния стенки трубы магистрального трубопровода

При контроле состояния сварных швов и поверхности стенки трубы очень показательным является магнитопорошковая дефектоскопия, в основе

которой лежит диффузия магнитного поля. На стенку трубы наносится магнитный порошок, частицы которого концентрируются в месте залегания дефекта, например, в зоне расположения трещины. Применение этого метода контроля наиболее показательно по сравнению с ультразвуковой дефектоскопией.

Обнаружение подповерхностных дефектов типа трещин и несплошностей с применением визуального контроля не осуществимо, однако с этой задачей легко справляется капиллярная дефектоскопия, основанная на «проникновении в полости дефектов под действием капиллярных сил индикаторных веществ (пенетратов). Далее исследуемую поверхность очищают от излишка пенетрата и покрывают тонким слоем проявителя, который впитывает в себя пенетрат из полости дефекта, под действием ультрафиолетового света» [5] в месте залегания дефектов обнаруживается характерный цветовой след, представленный на рисунке 22.



Рисунок 22 – Обнаружение подповерхностного дефекта капиллярным методом

Рассматриваемые методики контроля характеризуются высокой трудоемкостью и малой производительностью, их применение позволяет оценить состояние трубы локально в наиболее опасных, специально

выбранных для контроля местах. Кроме того, оценка динамики развития дефектов при таких способах контроля не происходит, что не позволяет своевременно принять решение о проведении ремонтных работ на рассматриваемом трубопроводе.

Повышение эффективности контроля состояния магистрального трубопровода возможно при применении метода акустической эмиссии, который предусматривает регистрацию волн при развитии в материале различных дефектов. Применение этого метода в сочетании с другими методиками контроля позволяет проводить оценку состояния трубопровода на участке длиной до 60 метров, при этом возможен контроль состояния трубопровода при его подземной прокладке.

В процессе проведения внутритрубной диагностики при оценке состояния длительно эксплуатируемого трубопровода на одном километре трубы может быть обнаружено несколько сотен дефектов. Одновременное устранение такого количества дефектов является экономически нецелесообразно. По этой причине необходимо отслеживание в динамике развития дефектов, что позволяет при достижении ими критического значения, принимать своевременное решение о проведении ремонтных работ. «С точки зрения повышения производительности следует признать высокую эффективность низкочастотной ультразвуковой диагностики» [31]. Пример проведения такой диагностики представлен на рисунке 23.



Рисунок 23 – Проведение низкочастотной ультразвуковой диагностики

Измерения проводятся от места расположения на трубе кольцевой антенны. Применение предлагаемого метода для диагностики вводимых в эксплуатацию трубопроводов позволяет судить о качестве выполнения кольцевых стыков вдоль магистрали на протяжении до нескольких километров. Применение предлагаемого способа на длительно эксплуатируемом трубопроводе позволяет судить о степени его износа. Высокая эффективность метода представлена в работе [35]. Проводилась диагностика состояния линейного участка трубопровода протяженностью 74 километра, на которой было обнаружено значительное количество дефектов различной степени развития и природы. В частности, утонение стенки трубы более 20 % от номинальной толщины было обнаружено на 1345 локальных участках. Утонение стенки трубы более допустимого значения было обнаружено на 263 участках. Ещё 230 участков труб имели коррозионные дефекты с утонением стенки, приближающимся к критическому значению.

2.3 Проведение низкочастотной ультразвуковой диагностики на магистральном трубопроводе

Предлагаемый метод с применением низкочастотных ультразвуковых колебаний предусматривает возбуждение колебаний в стенке трубы, которые вводятся посредством акустической антенны, устанавливаемой по периметру трубы [3], [5]. Принципиальная схема такой антенны представлена на рисунке 24 и включает в себя блок преобразователей 1, стягивающий хомут 2 и скобу 3. Акустические антенны выполнены на основе пьезоэлектрических преобразователей, возбуждающих в стенке трубы ультразвуковые колебания. Принцип возбуждения и передачи по телу трубы колебаний представлен на рисунке 25. Отражение звуковых волн происходит от несплошностей. Направленная волна на схеме показана позицией 1, отраженная волна показана позицией 2, отражающий волну дефект показан позицией 3.

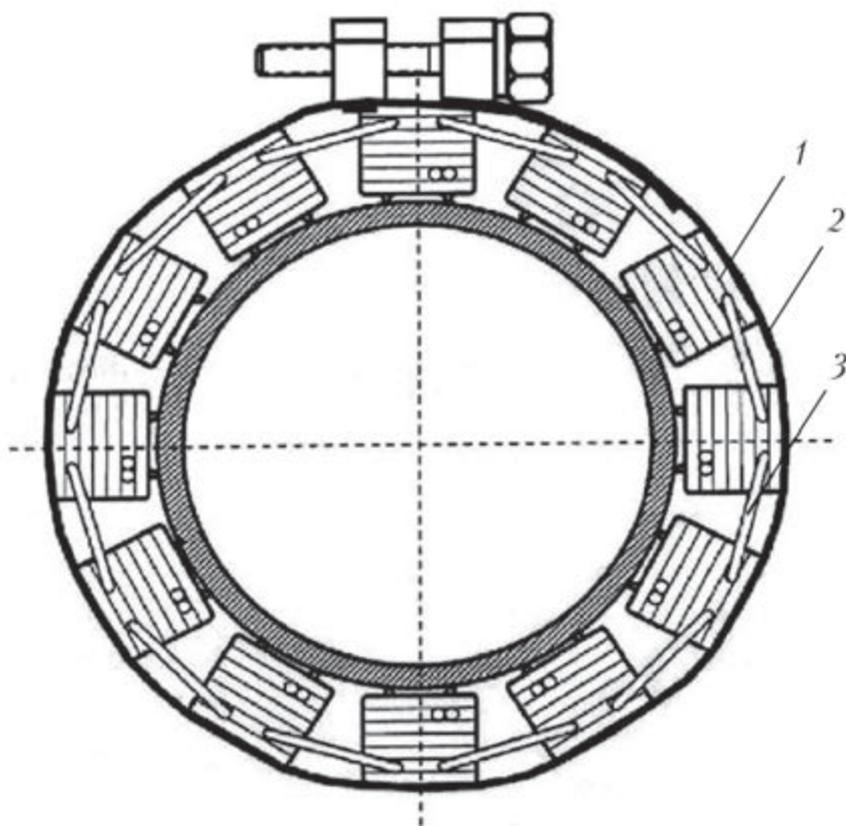


Рисунок 24 – Принципиальная схема акустической антенны

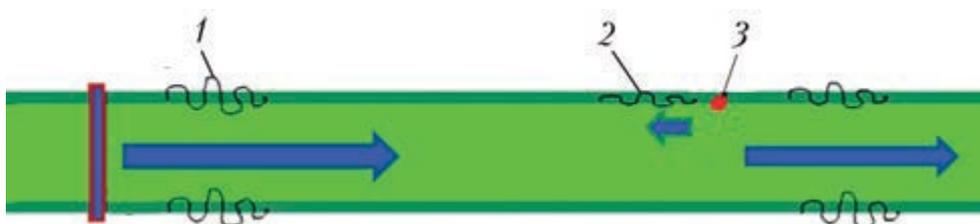


Рисунок 25 – Принцип возбуждения и распространения в стенке трубы направленных акустических волн

При реализации метода длинноволновой ультразвуковой дефектоскопии применяют направленные звуковые волны крутильные или продольные, как показано на рисунке 26. При этом такие волны характеризуются минимальной дисперсией, что позволяет выполнять оценку отраженного сигнала от дефектов, находящихся на расстоянии в несколько десятков километров от акустической антенны. Частота таких звуковых волн превышает 20 кГц, а скорость распространения в стали составляет 5900 метров в секунду.

Сравнительная оценка возможностей предлагаемого способа по сравнению с традиционным ультразвуковым контролем представлена на рисунке 27.

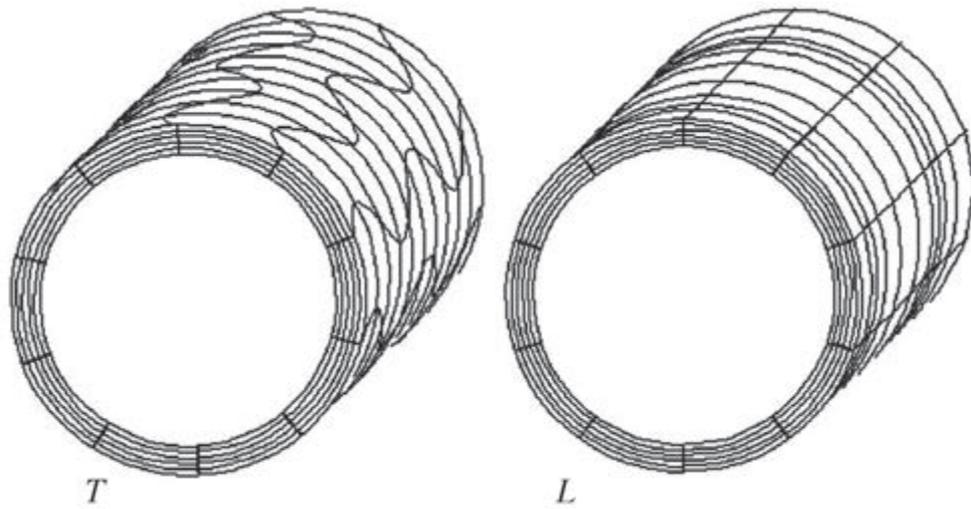


Рисунок 26 – Схематичное изображение крутильных T и продольных L колебаний

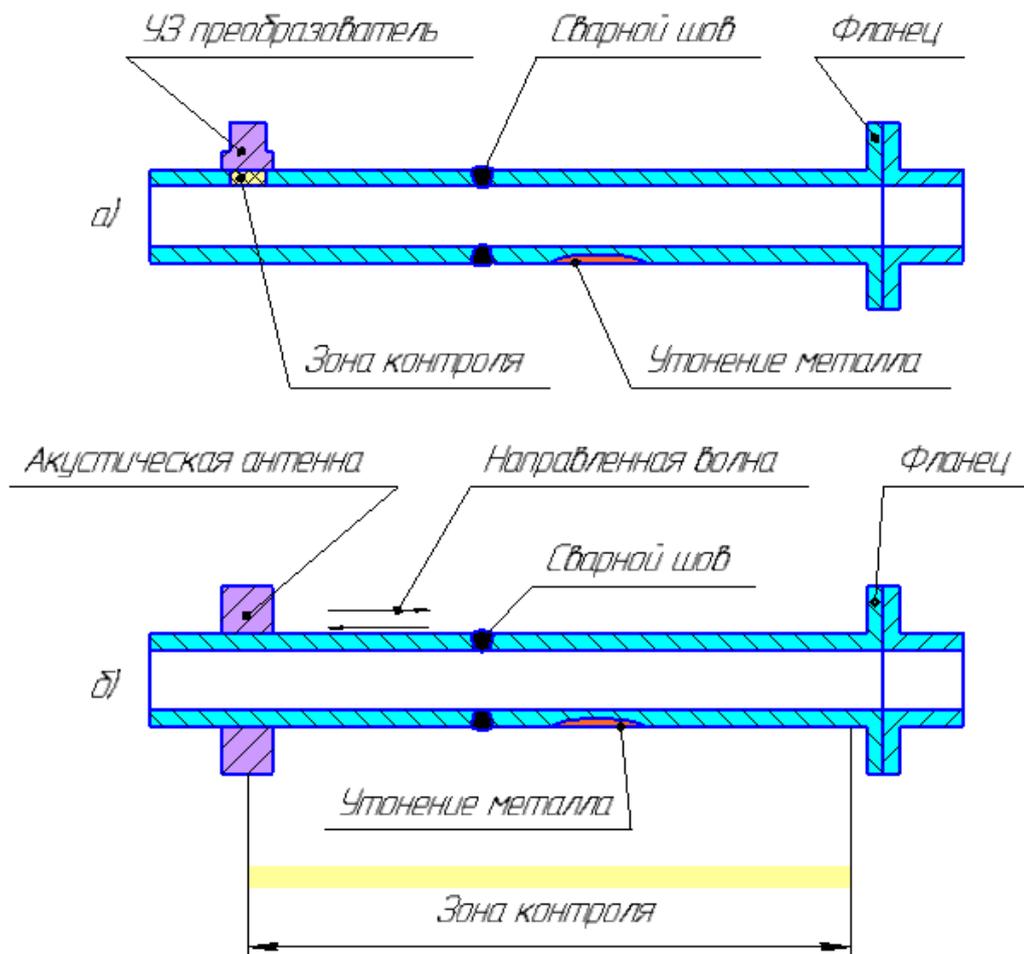


Рисунок 27 – Сравнительная оценка зоны контроля при УЗК (а) и НЧ УЗК (б)

Оценка состояния стенки трубы при применении традиционного ультразвукового контроля возможна по площади, соизмеримой с размерами ультразвукового преобразователя, что приблизительно равно нескольким квадратным сантиметрам. Применение предлагаемого низкочастотного длинноволнового ультразвукового контроля делает возможной оценку состояния стенки трубы на протяженности несколько десятков метров. Также следует принимать во внимание, что проведение предлагаемого способа контроля не требует отрывания трубы и снятия с неё защитного покрытия.

Ввод в тело трубы ультразвуковых колебаний осуществляется через систему ультразвуковых излучателей (акустическую антенну), устанавливаемую на надземном участке трубы, а обработка полученного сигнала осуществляется системой компьютерной диагностики, как это показано на рисунке 28.

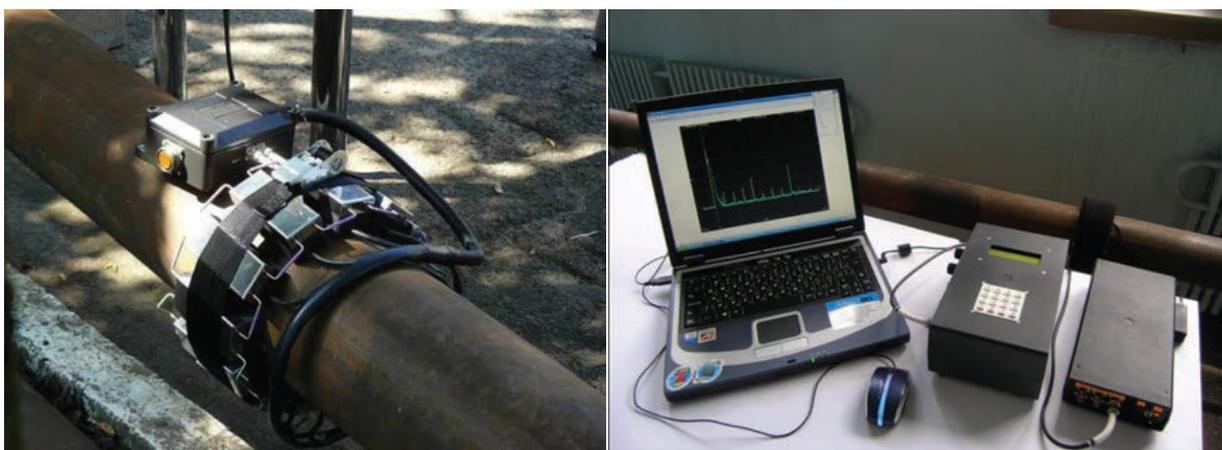


Рисунок 28 – Система ультразвуковых излучателей и диагностический комплекс «Универсал-1П»

Акустическая антенна излучает низкочастотные ультразвуковые колебания частотой от 20 до 100 кГц. Отраженный от дефекта сигнал позволяет судить о его расположении в трубе по длине с точностью до 100 мм, что считается приемлемым при оценке состояния линейных участков труб длиной в несколько километров. В последующем положение дефекта может быть уточнено, в том числе и с применением других методов контроля.

Отражение вводимого в тело трубы от акустической антенны звукового сигнала происходит от различных особенностей конструкции трубопровода, которые условно называются «отражатель». Такие отражатели могут быть как симметричными относительно сечения трубы, так и несимметричными. Классификация отражателей сигнала при контроле состояния трубопровода представлена на рисунке 29.

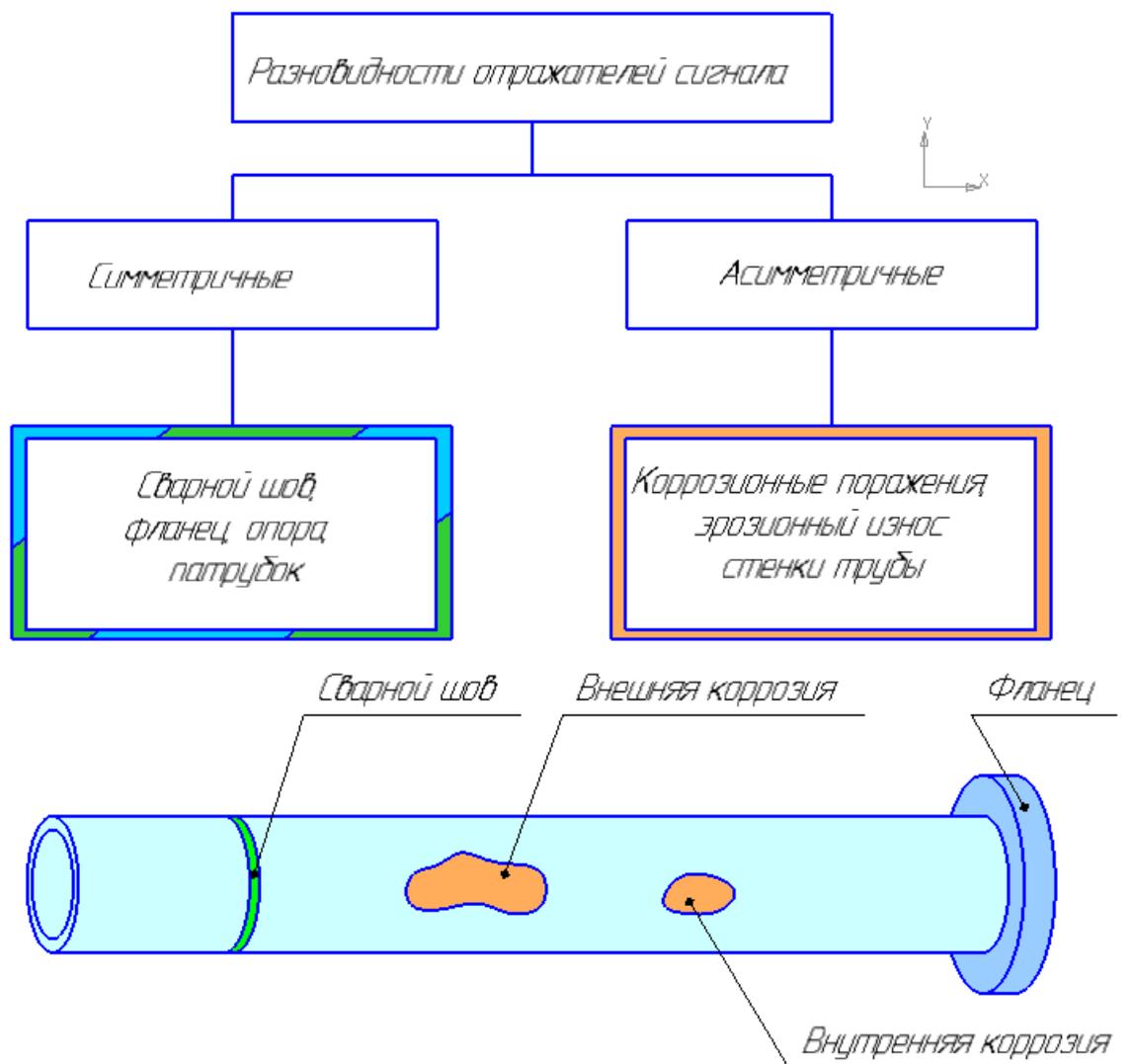


Рисунок 29 – Классификация отражателей сигнала

В качестве симметричных отражателей выступают сварные стыки, патрубки и места установки ремонтных муфт, их расположение сверяется с документацией на трубопровод. В качестве несимметричных отражателей выступают несплошности металла, дефекты сварного шва и утонение стенки

трубы из-за коррозионного поражения. Предлагаемый способ достоверно отслеживает уменьшение стенки трубы более 10% по толщине. По сравнению симметричных и несимметричных отраженных сигналов определяют расположение дефектов по длине линейной части трубопровода.

Предлагаемый метод позволяет оценить как глубину коррозионного поражения стенки трубы, так и его протяженность. Увеличение степени коррозионного поражения сопровождается утонением стенки трубы что становится причиной повышения уровня отраженного сигнала. Увеличение протяженности (или площади) участка коррозионного поражения вызывает повышение длительности отраженного сигнала. На рисунке 30 приведена диаграмма зависимости параметров отраженного сигнала от геометрии участка коррозионного поражения. Следует учитывать, что глубокие дефекты с малой площадью дают более выраженный отраженный сигнал, чем протяженные дефекты с малой глубиной поражения.

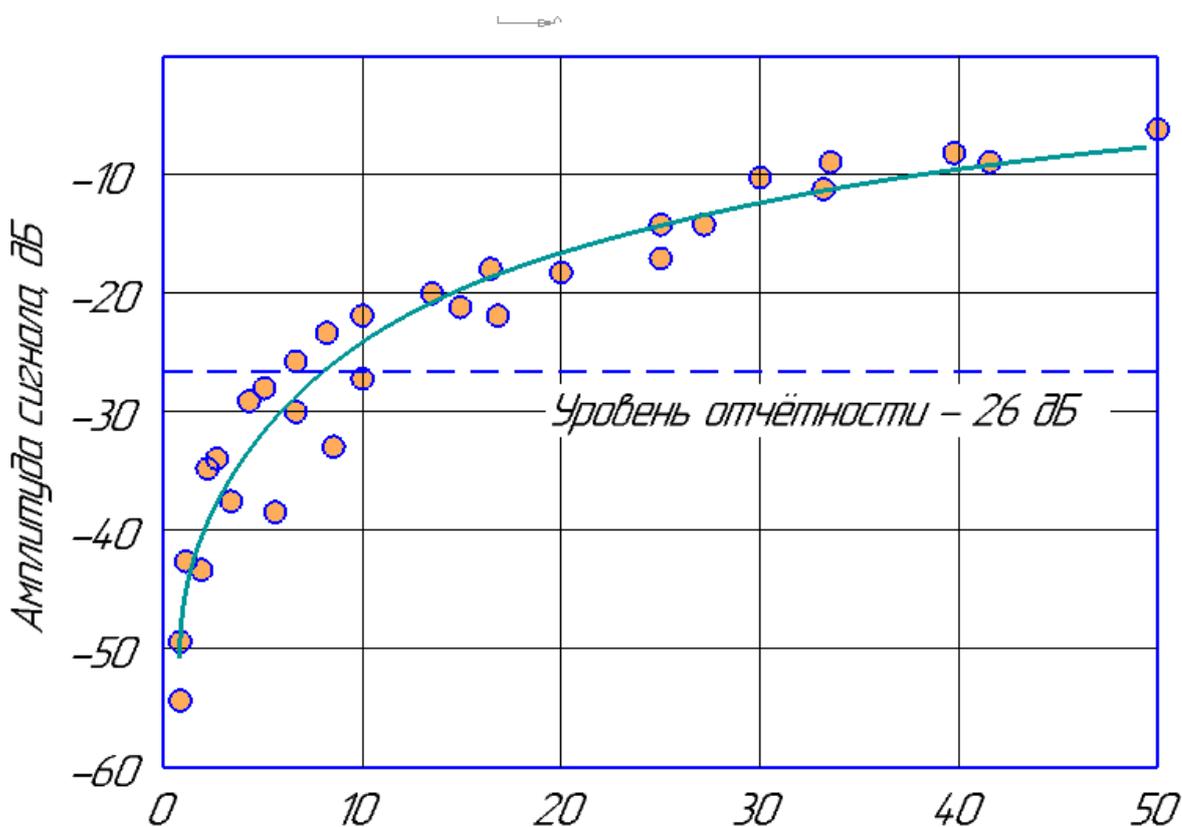


Рисунок 30 – Зависимость параметров отраженного сигнала от геометрии участка коррозионного поражения

Таким образом, следует признать падение чувствительности предлагаемого метода при уменьшении глубины поражения стенки трубы. Также следует принимать во внимание, что по мере увеличения глубины поражения коррозионных дефектов чувствительность метода также падает, так как при переходе некоторой глубины поражения величина сигнала перестает изменяться. Таким образом, необходимо правильная настройка оборудования, предусматривающая выравнивание отраженного от дефекта сигнала при переходе его в закритическое состояние, таким образом, все недопустимые дефекты будут давать отраженный сигнал одинакового уровня.

«При глубине поражения стенки трубы менее 3 % от номинальной толщины уровень отраженного сигнала является незначительным, и такой дефект не отслеживается. При глубине коррозионного поражения стенки трубы в диапазоне от 3 до 10 % толщины величина поражения может быть оценена по уровню отраженного сигнала. При глубине поражения стенки трубы более 10 % от толщины уровень отраженного сигнала будет максимальным для всех дефектов» [3]. Пример обработки отраженных сигналов с применением компьютерной системы представлен на рисунке 31.

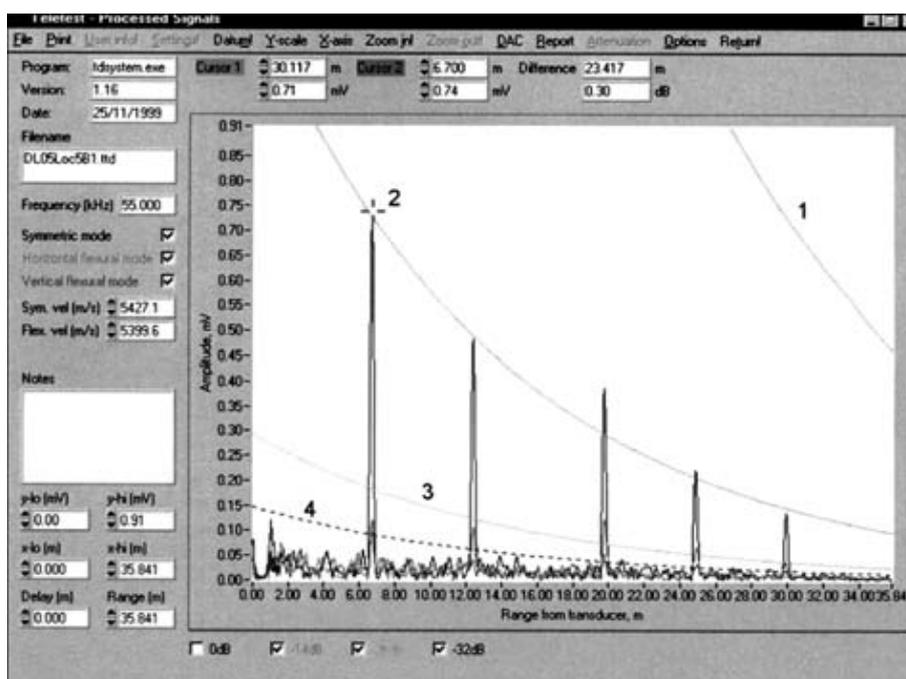


Рисунок 31 – Пример обработки отраженного сигнала

Кривая 1 получается при отражении сигнала от идеального отражателя, в качестве которого может быть принят конец трубы или фланец на трубе. Такой сигнал записывается в лабораторных условиях и впоследствии применяется для настройки чувствительности системы при измерениях в полевых условиях. Кривая 2 получается от симметричных отражателей, в качестве которых выступают кольцевые стыковые швы на трубопроводе, поэтому расстояния между пиками на диаграмме равны. Амплитуда такого сигнала соответствует расстоянию сварного шва от акустической антенны, самый сильный сигнал (от ближайшего сварного шва) по уровню соответствует приблизительно 20 % сигнала от торца трубы (кривая 1). Кривые 3 представляют группы сигналов, которые были получены от несимметричных отражателей и соответствуют дефектам стенки трубы, критичность дефекта определяется по уровню сигнала. Если отраженный сигнал не превышает уровень -26 дБ, то дефект признается незначительным. «Если отраженный сигнал превышает уровень -26 дБ, то такой дефект признается умеренным. При достижении уровня отраженного сигнала -14 дБ дефект признается критическим. Кривая 4 соответствует нижней границе сигнала, если отраженный сигнал находится ниже её, то он в учет не принимается» [3]. На рисунке 32 представлены примеры формирования сигнала от отражателей различного типа.

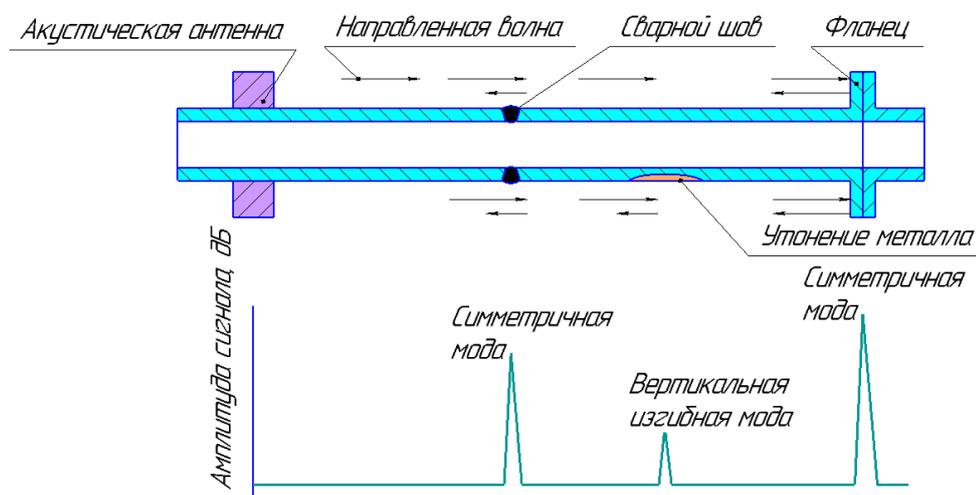


Рисунок 32 – Формирование эхо-сигнала от отражателей различного типа

Автоматическое чтение и интерпретация сигналов обеспечивается программным обеспечением при работе представленного на рисунке 28 комплекса.

2.4 Методика комплексной оценки дефектности трубопровода

Недостатком предлагаемой методики контроля состояния длительно эксплуатируемого трубопровода является неоднозначная корреляция между уровнем отраженного сигнала и геометрии дефекта. Уровень отраженного сигнала позволяет судить об «изменении площади поперечного сечения трубы, которое складывается из глубины поражения и площади пораженного участка. Таким образом, получаемая информация позволяет лишь приблизительно судить о величине потери стенки трубы по толщине. Так, на рисунке 33 представлены примеры коррозионного поражения трубы, характеризующиеся одинаковым уменьшением площади поперечного сечения трубы» [3], а значит, и одинаковым уровнем отраженного сигнала. При этом наиболее опасным будет третий случай повреждения трубы.

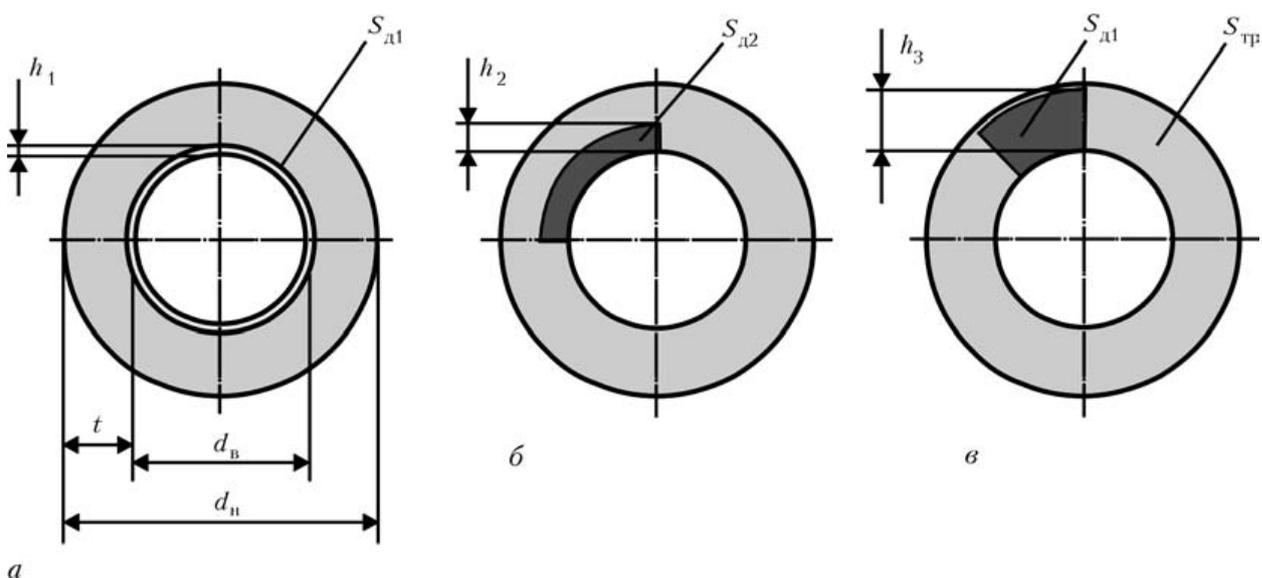


Рисунок 33 – Примеры повреждения трубы с одинаковым уровнем отраженного сигнала

Для устранения этого недостатка необходимо проводить дополнительный ультразвуковой контроль. Алгоритм такого комплексного контроля представлен на рисунке 34 и предусматривает как проведение НЧ УЗК контроля, так и местного УЗК контроля.

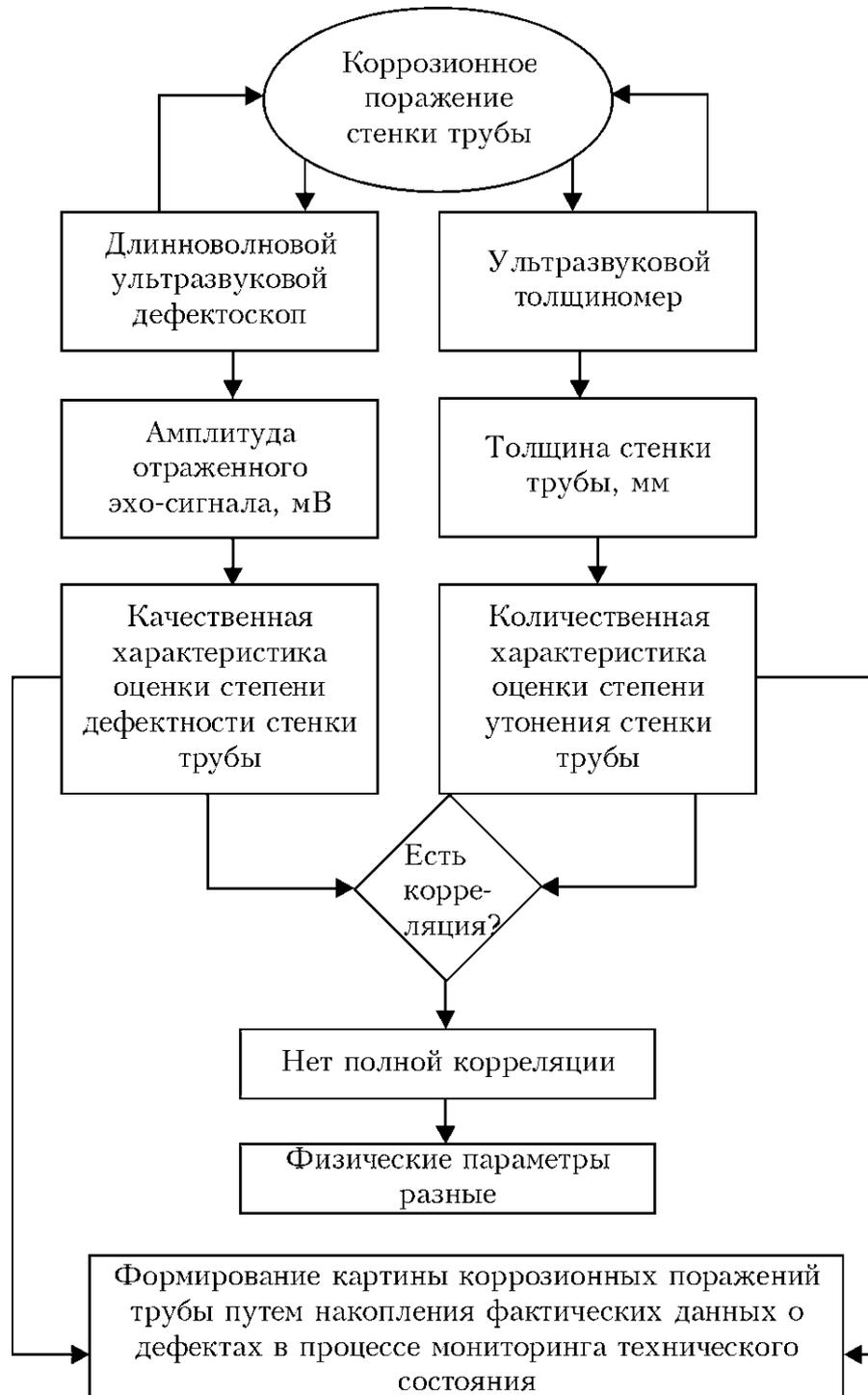


Рисунок 33 – Алгоритм проведения комплексной диагностики состояния трубопровода

С применением длинноволнового ультразвукового исследования, проводимого по все длине инспектируемого участка трубопровода, определяют наличие дефектов, их приблизительное расположение и критичность. При необходимости расположение дефектов уточняется посредством ультразвукового контроля. остаточная толщина стенки трубы определяется ультразвуковым толщиномером. На рисунке 34 представлена методика комплексной оценки критичности обнаруживаемых на трубопроводе дефектов.

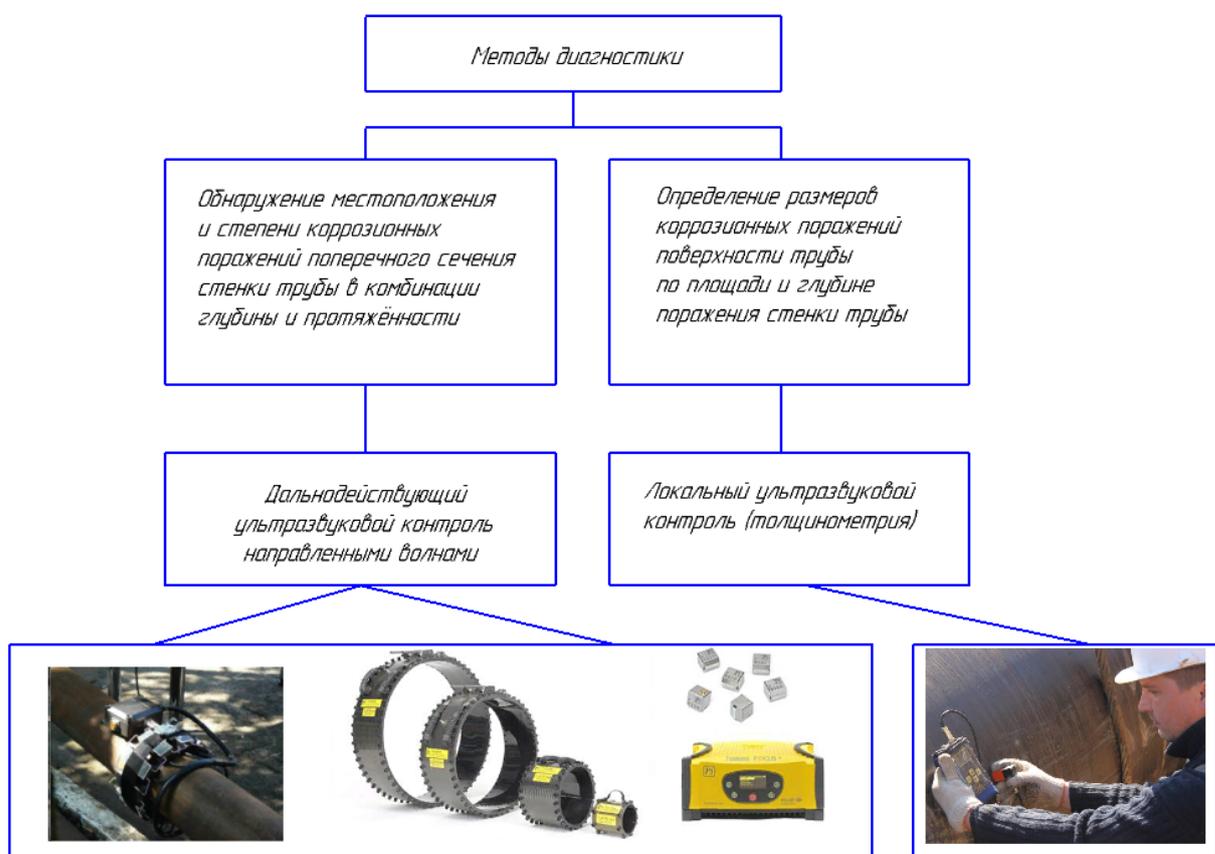


Рисунок 34 - Методика комплексной оценки критичности обнаруживаемых на трубопроводе дефектов

Такая методика позволяет задавать зоны наблюдения, изменение отраженного сигнала от которых позволяет судить о дальнейшем развитии дефекта и принимать решение о своевременном устранении дефектов по мере их перехода в критическое состояние. Предлагаемый непрерывный мониторинг продлевает безопасную эксплуатацию стареющих трубопроводов.

Выводы по второму разделу

В первом разделе выпускной квалификационной работы на основании анализа известных данных выполнена постановка задач на выпускную квалификационную работу. В настоящем разделе на основании анализа применяющихся методик диагностики состояния длительно эксплуатируемых магистральных трубопроводов предложено применить дальнедействующий ультразвуковой контроль, позволяющий выполнять проверку состояния поверхности труб одновременно на протяжении нескольких десятков метров. Технические возможности предлагаемой методики доказываются в ходе литературного поиска и примеров положительного применения как зарубежом, так и в России. Для повышения эффективности метода предложено применить комплексный анализ состояния труб, сочетающий как диагностику с применением дальнедействующего ультразвукового контроля, так и стандартные методики контроля для уточнения параметров обнаруживаемых дефектов стенки трубы.

Далее следует выполнить два оценочных раздела. В первом оценочном разделе, посвященном обеспечению промышленной и экологической безопасности, следует выполнить идентификацию негативных производственных факторов и предложить меры защиты от них. Также следует рассмотреть вопросы пожарной и экологической безопасности [2], [10].

Во втором оценочном разделе «следует провести сравнение экономических показателей базового и проектного вариантов технологии, на основании которого можно сделать вывод о целесообразности внедрения предлагаемых решений в производство» [14], [18]. Последующее заключение должно содержать выводы и доказательство достижения поставленной цели с рекомендациями по внедрению и направлению исследований в рассматриваемой области наук.

3 Промышленная безопасность производственного участка

3.1 Описание технологического объекта и постановка оценочной задачи

На основании представленных во втором (исполнительском) разделе выпускной квалификационной работе результатов решения задач ожидается повышение качества и «производительности при диагностике состояния магистральных трубопроводов и исправлении обнаруживаемых дефектов. Решение о возможности внедрения предлагаемых решений в современное производств должно приниматься на основании анализа возможности обеспечения безопасности труда и экологической безопасности рассматриваемого производственного участка» [13].

Укрупненная характеристика проектного технологического процесса ремонтной сварки представлена в таблице 3, которая дает начальную информацию о перечне выполняемых операций, персонале, применяемом оборудовании и материалах, что позволяет провести идентификацию опасных и вредных производственных факторов, которыми характеризуется рассматриваемый производственный участок, на котором предлагается реализовать проектную технологию.

Такие операции, как зачистка дефектного участка и механическая обработка после сварки, выполняется с привлечением слесаря-сборщика. Предварительный подогрев выполняется термистом. Для их выполнения операции исправления дефекта привлекается электросварщик. Для выполнения контрольных операций привлекается дефектоскопист.

Применяемое при выполнении операций оборудование может стать причиной возникновения факторов, при этом, если фактор не ухудшает состояние персонала, то он признается нейтральным и в дальнейшем не учитывается. Поэтому следует идентифицировать только негативные факторы (опасные или вредные).

Таблица 3 – Укрупненная характеристика проектного технологического процесса исправления дефектов труб коррозионного происхождения

Операция	Персонал	Оборудование	Материалы
«Зачистка дефектного участка	слесарь-сборщик	машинка радиальная шлифовальная	круг абразивный
Предварительный подогрев	термист	резак газопламенный	смесь пропан-бутановая
Заварка дефекта	электросварщик на автоматических и полуавтоматических машинах	- выпрямитель сварочный ВД-306Ш, - машинка радиальная шлифовальная	сварочные электроды
Механическая обработка	слесарь-сборщик	машинка радиальная шлифовальная	круг абразивный
Контроль качества» [8]	дефектоскопист по магнитному и ультразвуковому контролю	ультразвуковой дефектоскоп Olympus NDT EPOCH 1000i	масло

На основании представленной в таблице информации становится возможным сформулировать производственные факторы, влияние которых может оказать негативное воздействие на персонал предприятия.

3.2 Идентификация негативных производственных факторов

При выполнении операция проектного технологического процесса возможно возникновение негативных производственных факторов, источниками которого выступает применяемое оборудование. Операции сварки и наплавки предусматривают наличие дуги, что приводит к повышенному уровню опасных и вредных факторов, возникающих на рассматриваемом производственном участке по сравнению с другими производственными участками. Также следует принимать во внимание наличие на участке оборудования, работающего при опасных уровнях напряжения и тока. В таблице 4 представлен перечень возникающих опасных и вредных производственных факторов, для которых в дальнейшем предстоит вести разработку средств и методик защиты .

Таблица 4 – Негативные производственные факторы при реализации операций проектного технологического процесса

Наименование операции	Опасный или вредный производственный фактор
Зачистка дефектного участка	<ul style="list-style-type: none"> - острые кромки и заусенцы и шероховатости н поверхности заготовок - движущиеся части машин и механизмов - отсутствие или недостатков естественного освещения - отсутствие или недостатков искусственного освещения - химические вещества в твердом, жидком и газообразном состоянии
Предварительный подогрев	<ul style="list-style-type: none"> - опасные и вредные производственные факторы, связанные с электрическим током - повышенная температура поверхностей
Заварка дефекта	<ul style="list-style-type: none"> - «чрезмерное загрязнение воздушной среды в зоне дыхания - повышенный уровень шума - опасные и вредные производственные факторы, связанные с электрическим током - инфракрасное излучение - ультрафиолетовое излучение - химические вещества в аэрозольном состоянии - повышенная температура поверхностей» [13]
Механическая обработка	<ul style="list-style-type: none"> - острые кромки и заусенцы и шероховатости н поверхности заготовок - движущиеся части машин и механизмов - отсутствие или недостатков естественного освещения - отсутствие или недостатков искусственного освещения - химические вещества в твердом, жидком и газообразном состоянии
Контроль качества	<ul style="list-style-type: none"> - повышенный уровень ультразвуковых колебаний - острые кромки и заусенцы и шероховатости н поверхности заготовок

«Представленные а таблице неблагоприятные производственные факторы могут быть разделены на вредные производственные факторы и опасные производственные факторы. К первым следует отнести такие факторы, которые становятся причиной возникновения заболеваний или причиной развития уже имеющихя у человека заболеваний» [13]. При этом заболевания могут протекать как остро, так и хронически. К второй группе факторов следует отнести такие факторы, которые могут способствовать получению человеком травмы или возникновению на предприятии смертельного случая. Идентифицированные факторы относятся к факторам, ранее возникающим на предприятии, для их нейтрализации может быть применен стандартный набор средств.

3.3 Нейтрализация негативных производственных факторов

Ранее была выполнена идентификация негативных производственных факторов согласно ГОСТ 12.0.003-2015. Далее следует провести оценку эффективности применения стандартных средств и методик, которые представлены в таблице 5.

В таблице рассматривается двенадцать негативных факторов, действие которых на персонал предприятия должно быть устранено. Для защиты персонала от действия этих факторов могут быть применены как стандартные, так и специальные средства, обеспечивающие безопасность производственного процесса.

Следует учитывать кумулятивное действие вредных факторов, заключающееся в накоплении негативного действия в течении времени и острого их проявления. Также следует принимать во внимание, что действующие совместно факторы могут усиливать друг друга, что повышает их опасность и вредоносность.

В арсенале средств, призванных нейтрализовать действие негативных факторов, числятся средства технического характера, организационные мероприятия и средства личной защиты. Значительная роль отводится организационным мероприятиям, от своевременности и полноты проведения которых в значительной степени зависит безопасность труда. Как показывает практика, именно нарушение трудовой дисциплины становится причиной большинства несчастных случаев на производстве. Также следует принимать во внимание необходимость поддержания порядка на рабочем месте, что позволяет лучше организовать производственный процесс и обеспечить его безопасность по отношению к участникам. Также следует постоянно проверять комплектность и исправность средств индивидуальной защиты, состояние которых должно контролировать как руководство предприятия, так и сам персонал. Для обслуживания технических средств безопасности труда должны привлекаться квалифицированные работники.

Таблица 5 – Средства и методики для устранения профессиональных рисков

Негативный фактор	Технические средства	Индивидуальные средства
1) острые кромки и заусенцы и шероховатости на поверхности заготовок	- оснащение рабочих мест предупреждающими плакатами и табличками	Специальная одежда, перчатки
2) движущиеся части машин и механизмов	устройства защитного отключения привода станков	Специальная одежда, перчатки
3) отсутствие или недостатков естественного освещения	- контроль уровня освещенности рабочего места - дополнительная подсветка	индивидуальная подсветка
4) отсутствие или недостатков искусственного освещения	- контроль уровня освещенности рабочего места - дополнительная подсветка	индивидуальная подсветка
5) «химические вещества в твердом, жидком и газообразном состоянии»	- оснащение рабочих мест предупреждающими плакатами и табличками	Специальная одежда, перчатки
6) чрезмерное загрязнение воздушной среды в зоне дыхания	- устройства местного удаления загрязненного воздуха и общеобменной вентиляции	индивидуальные средства защиты дыхательных путей
7) опасные и вредные производственные факторы, связанные с электрическим током	- организация и проведение периодического инструктажа работников на предмет соблюдения техники безопасности - контроль изоляции и заземления - защитное заземление, защитное отключение	защитная одежда, диэлектрические коврики
8) инфракрасное излучение	- ограничение проникновения персонала в опасную зону применением ограждений - защитные экраны	специальная одежда, перчатки, защитные маски
9) ультрафиолетовое излучение	- ограничение проникновения персонала в опасную зону применением ограждений - защитные экраны	специальная одежда, перчатки, защитные маски
10) повышенная температура поверхностей	- оснащение рабочих мест предупреждающими плакатами и табличками	специальная одежда, перчатки, защитные маски
11) химические вещества в аэрозольном состоянии	- устройства местного удаления загрязненного воздуха и общеобменной вентиляции	защитные маски
12) повышенный уровень ультразвуковых колебаний	- ограничение проникновения персонала в опасную зону	защита расстоянием и уменьшением времени воздействия» [10]

Анализ данных таблицы позволяет судить о высокой эффективности применяемых стандартных средств и методик. Разработки специальных средств не требуется.

3.4 Пожарная безопасность производственного участка

Проводимый сварочные и наплавочные работы становятся источником повышенной пожарной опасности вследствие наличия самой дуги, горение которой характеризуется высокими температурами и интенсивностью теплового излучения; брызг расплавленного металла, которые могут попасть на горючие предметы; самих нагретых поверхностей.

«Для того, чтобы обеспечить горение дуги, применяются источники тока, подвод электрической мощности к которым также может стать причиной возгорания. Также наличие на участке электрического оборудования усложняет протекание пожара и его тушение. В таблице 6 выполнена идентификация пожара, возникновение которого следует предотвратить» [10].

Таблица 6 – Идентификация пожара на производственном участке

«Наименование участка	Участок проведения ремонтной сварки и наплавки при исправлении дефектов труб коррозионного происхождения
Наименование оборудования	Оборудование для механической обработки, сварочное оборудование, термическое оборудование, дефектоскоп
Классификация по виду горящего вещества	Пожары, которые происходят за счет воспламенения и горения веществ и материалов на электроустановках, запитанных электрическим напряжением (Е)
Наименование основных опасных факторов пожара	Пламя, повышенная температура воздуха, токсические продукты горения, уменьшение концентрации кислорода в воздухе, снижение видимости из-за задымления, искры
Наименование вторичных опасных факторов пожара» [10]	Поражение персонала электрическим током, падение на персонал элементов конструкции здания и оборудования

При возникновении на рассматриваемом участке пожара, неминуемо возникают его опасные факторы. К таким фактора относят разлетающиеся при горении искры, застилающее обзор и мешающее ориентироваться в пространстве задымление, отравляющие людей токсические продукты горения, приводящее к удушью уменьшение содержания в воздухе кислорода, волны горячего воздуха и само пламя. Также при пожаре возможно падение на людей элементов оборудования и строительной конструкции при её разрушении. На основании результатов проведенного анализа

возникающий на «рассматриваемом производственном участке пожар может быть отнесен к категории Е, так как ещё одним поражающим фактором является электрический ток, поражение которым может произойти при тушении пожара. В таблице 7 представлены средства, обеспечивающие устранение опасных факторов такого пожара, которые следует быть готовым применить на рассматриваемом производственном участке» [10].

Таблица 7 – Средства устранения факторов пожара

«Первичные средства пожаротушения	Емкость с песком, переносные углекислотные огнетушители.
Мобильные средства пожаротушения	Специализированные расчеты (вызываются)
Стационарные установки системы пожаротушения	Нет необходимости
Средства пожарной автоматики	Установки пожарной сигнализации, пожарного оповещения
Пожарное оборудование	Пожарный кран
Средства индивидуальной защиты и спасения людей при пожаре	План эвакуации
Пожарный инструмент (механизированный и немеханизированный)	Ведро конусное, лом, лопата штыковая
Пожарная сигнализация, связь и оповещение» [10]	Кнопка оповещения, звуковые оповещатели, речевые оповещатели, световые оповещатели

Следует принимать во внимание, что пожар лучше предотвратить, чем потушить, поэтому особое внимание следует уделить средствам и мероприятиям, обеспечивающим предотвращение появления возгорания на рассматриваемом производственном участке. Для этого запрещается складирование на нем мусора, могущего стать потенциальным топливом, к такому мусору относится ветошь, картон, бумага, элементы упаковки, куски пенопласта. Также запрещается хранение на производственном участке значительных количеств возгорающихся жидкостей. «Необходимо проведение инструктажа персонала по обеспечению пожарной безопасности. Запрещается работа на неисправном сварочном оборудовании. Необходимо проведение учений по пожарной безопасности и обеспечение участка средствами первичного пожаротушения» [13].

3.5 Обеспечение экологической безопасности производственного участка

При проектировании современного производства необходимо предусмотреть, чтобы оно отвечало не только требованиям промышленной безопасности и пожарной безопасности, но и наносило минимальный ущерб окружающей среде, так как бережное ответственное отношение к природным ресурсам выходит на первый план и включено в современную мировую повестку. В настоящей выпускной квалификационной работе рассматривается процесс ремонтной сварки при исправлении дефектов коррозионного происхождения на элементах магистрального трубопровода, который представляет опасность для элементов природы – гидросферы, литосферы и атмосферы. В таблице 8 представлены мероприятия и средства, обеспечивающие защиту природных компонентов от негативных экологических факторов рассматриваемого производства.

Таблица 8 – Мероприятия и средства по защите природных компонентов от негативных экологических факторов рассматриваемого производства

Участок	Участок ремонтной сварки магистрального трубопровода
Защита атмосферы	Вентиляционная система, обслуживающая производственный участок, должна быть оснащена системой фильтров, обеспечивающей сбор и утилизацию выделяющихся вредных компонентов. Запрещается сжигание промышленного мусора, полученного в ходе функционирования рассматриваемого производственного участка. Инструктаж персонала по необходимости соблюдения экологических норм.
Защита гидросферы	Запрещается сливать в канализационную систему цеха машинное масло и другие отходы производства. Инструктаж персонала по необходимости соблюдения экологических норм. Очистка и повторное использование технической воды, позволяющие уменьшить расход водных ресурсов. Запрещается использование для технических нужд питьевой воды.
Защита литосферы	Обеспечить отдельный сбор и утилизацию промышленного мусора, возникающего в ходе «функционирования рассматриваемого производственного участка. Запрещается закапывание и несанкционированное выбрасывание промышленного мусора. Инструктаж персонала по необходимости соблюдения экологических норм. Рециклинг промышленных отходов, позволяющий значительно уменьшить негативную нагрузку со стороны предприятия на литосферу» [2].

Выводы по экологическому разделу

Настоящий экологический раздел посвящен вопросам, связанным с «обеспечением безопасности труда, пожарной безопасности и экологической безопасности рассматриваемого производственного участка при реализации на нем проектной технологии» [13] ремонтной сварки при исправлении дефектов магистрального трубопровода.

На основании проведенного анализа технологического процесса составлен перечень производственных факторов, как опасных, так и вредных, защита от действия которых реализуется путем применения стандартных средств и организационных мероприятий. Необходимый уровень безопасности обеспечивается, и проведение специальной разработки не требуется.

Оценка пожарной безопасности рассматриваемого производственного участка позволила сформулировать перечень средств и мероприятий по повышению пожарной безопасности и предотвращению возникновения пожара на предприятии.

Соблюдение требований современной мировой экологической повестки заставляет рассматривать производственный участок с точки зрения потенциальной опасности по отношению к природным ресурсам. В настоящей выпускной квалификационной работе предложены мероприятия по защите составляющих природы – атмосферы, литосферы и гидросферы от негативного воздействия со стороны производственного участка. Особое внимание следует уделить селективному сбору промышленных отходов и недопустимости несанкционированного их выбрасывания, что может привести к загрязнению гидросферы и литосферы. Таким образом, предлагаемые в настоящей выпускной квалификационной работе технические решения не представляют существенной угрозы работникам предприятия и окружающей среде. Все возникающие при реализации проектной технологии негативные воздействия могут быть нейтрализованы с применением стандартных средств и мероприятий.

4 Экономическая эффективность предлагаемых технических решений

4.1. Исходные данные для экономического расчёта

Ранее рассматривался вопрос построения технологии обнаружения дефектов и их исправления на длительно эксплуатируемых магистральных трубопроводах. На основании анализа применяющихся методик диагностики состояния длительно эксплуатируемых магистральных трубопроводов предложено применить дальнедействующий ультразвуковой контроль, позволяющий выполнять проверку состояния поверхности труб одномоментно на протяжении нескольких десятков метров. Технические возможности предлагаемой методики доказываются в ходе литературного поиска и примеров положительного применения как зарубежом, так и в России. Для повышения эффективности метода предложено применить комплексный анализ состояния труб, сочетающий как диагностику с применением дальнедействующего ультразвукового контроля, так и стандартные методики контроля для уточнения параметров обнаруживаемых дефектов стенки трубы. Применение предлагаемых решений при реализации проектного технологического процесса по сравнению с базовой технологией позволяет получить комплексный положительный технологический эффект, выражающийся в одновременном повышении производительности выполняемых работ и их качества. За счёт повышения производительности ожидается снижение размеров фонда заработной платы, а повышение качества позволяет экономить на сварочных материалах, электрической энергии и фонде заработной платы, так как существенно снижается количество брака и работ по его исправлению.

Исходные данные, которые будут применены для расчёта экономических показателей, представлены в таблице 9.

Таблица 9 – Данные для расчета экономических показателей производства

Параметр	Обозначение	Единица измерения	Принимаемое значение по варианту технологии	
			базовый	проектный
«Число рабочих смен в сутках	$K_{см}$	-	1	1
Разряд работников	P_p	-	V	V
Часовая тарифная ставка	$Cч$	Р/час	200	200
Коэффициент доплат	$K_{доп}$	%	12	12
Коэффициент отчислений на дополнительную ЗП	K_d	-	1,88	1,88
Коэффициент отчислений на социальные нужды	$K_{сн}$	%	34	34
Коэффициент выполнения нормы	$K_{вн}$	-	1,1	1,1
Стоимость оборудования	$Ц_{об}$	руб.	450 тыс.	2450 тыс.
Норма амортизации оборудования	K_a	%	21,5	21,5
Мощность оборудования	$M_{уст}$	кВт	25	40
Коэффициент транспортно-заготовительных расходов	$K_{т-з}$	%	5	5
Стоимость электрической энергии	$Ц_{э-э}$	Р/ кВт	3,02	3,02
Коэффициент полезного действия	$K_{пд}$	-	0,85	0,85
Коэффициент затрат на монтаж и демонтаж оборудования	$K_{мон}$ $K_{дем}$	%	3	5
Площадь под оборудование	S	м ²	20	20
Стоимость эксплуатации площадей	$C_{эксп}$	(Р/м ²)/год	2000	2000
Цена производственных площадей	$Ц_{пл}$	Р/м ²	30000	30000
Норма амортизации площади	$На.пл.$	%	5	5
Коэффициент дополнительной производственной площади	$K_{пл}$	-	3	3
Коэффициент эффективности капитальных вложений	E_n	-	0,33	0,33
Коэффициент цеховых расходов	$K_{цех}$	-	1,5	1,5
Коэффициент заводских расходов» [14]	$K_{зав}$	-	1,15	1,15

«Дальнейшие экономические показатели рассчитываются на основании представленных в настоящей таблице исходных данных. Алгоритм оценки эффективности предусматривает отдельное определение временных показателей рассматриваемого производства, отдельный расчёт составляющих технологической себестоимости, цеховых и заводских расходов, капитальных вложений» [14].

4.2 Фонд времени работы оборудования

Начальным этапом для расчета экономических показателей производства является определение его временных параметров, к которым, в первую очередь, следует отнести «годовой фонд времени работы оборудования F_H и эффективный фонд времени работы оборудования F_3 , связанные друг с другом через коэффициент рабочего времени B . Годовой фонд времени работы оборудования F_H в дальнейшем определяет годовую программу и влияет на последующие расчеты» [14].

Рассматриваемое в настоящей выпускной квалификационной работе производство предусматривает работу в одну смену, таким «образом, для расчётов принимается количество смен $K_{см}=1$. Общее число рабочих дней в одном календарном году принимается равным $D_p=277$. Нормальная продолжительность рабочей смены для проведения последующих расчётов принимается равной $T_{см}=8$ часов. В предпраздничные дни уменьшение продолжительности рабочей смены составляет $T_{п}=1$ час. Количество предпраздничных дней в году для выполнения расчётов принимается равным $D_{п}=7$ дней. На основании вышеизложенного может быть рассчитано значение годового фонда времени:

$$F_H = (D_p \cdot T_{см} - D_{п} \cdot T_{п}) \cdot K_{см} = (277 \cdot 8 - 7 \cdot 1) \cdot 1 = 2209 \text{ часов.} \quad (1)$$

Эффективный фонд времени работы оборудования позволяет учесть потери рабочего времени» [14] через коэффициент B , значение которого для рассматриваемого случая построения технологического процесса принимается $B=0,07$. На основании вышеизложенного

$$F_3 = F_H(1-B) = 2209 \cdot (1 - 0,07) = 2054 \text{ часов.} \quad (2)$$

Расчёт показателей экономической эффективности в дальнейшем выполняем с учетом рассчитанного выше значения эффективного фонда времени $F_3= 2054$ часа.

4.3 Расчёт штучного времени и годовой программы производства

Расчёт капитальных вложений и экономической эффективности внедрения в производство предлагаемых решений требует для своего проведения задания годовой программы производства Π_{Γ} . Для его определения предварительно следует задаться значением штучного времени $t_{шт}$ для базового и проектного вариантов технологии, которые могут упрощенно рассчитывать по составляющим: «машинное время $t_{маш}$, значение которого задается по результатам анализа особенностей базового и проектного вариантов технологического процесса; вспомогательное время $t_{всп}$, которое задается через машинное время и составляет 10 % от него; время на обслуживание рабочего места $t_{обсл}$, которое задается через машинное время и составляет 5 % от него; времени на личный отдых $t_{отд}$, которое задается через машинное время и составляет 5 % от него; подготовительно-заключительное время $t_{пз}$, которое задается через машинное время и составляет 1 % от него. Таким образом, расчёт штучного времени по упрощенной схеме» [14] выполняется как

$$t_{шт} = t_{маш} + t_{всп} + t_{обсл} + t_{отд} + t_{пз} . \quad (3)$$

«Расчёт по формуле (3) для базового варианта построения технологического процесса позволяет получить значение штучного времени для выполнения работы: $t_{шт} = 48 \cdot (100\% + 10\% + 5\% + 5\% + 1\%) = 58,1$ часа» [14]. Расчёт по формуле (3) для проектного варианта построения технологического процесса позволяет получить значение штучного времени для выполнения работы: $t_{шт} = 7 \cdot (100\% + 10\% + 5\% + 5\% + 1\%) = 8,5$ часа.

Далее рассчитывается годовая программа как отношение эффективного фонда времени оборудования $F_{\text{э}}$ и штучного времени $t_{шт}$ как

$$\Pi_{\Gamma} = F_{\text{э}} / t_{шт} . \quad (4)$$

Расчёт по формуле (4) для базового варианта построения технологического процесса позволяет получить значение годовой программы $\Pi_{\Gamma} = 2054/58,1 = 35$ километров трубопровода. Расчёт по формуле (4) для проектного варианта построения технологического процесса позволяет получить значение годовой программы $\Pi_{\Gamma} = 2054/8,5 = 242$ километров трубопровода. С учётом потребностей рассматриваемого производства для значения годовой программы принимается $\Pi_{\Gamma} = 70$ исправляемых километров трубопровода за один год. Далее следует выполнить расчёт количества оборудования $n_{\text{расч}}$ для проектного и базового вариантов технологического процесса, для чего «следует применить ранее рассчитанное значение эффективного фонда времени $F_{\text{э}}$, годовой программы Π_{Γ} и штучного времени $t_{\text{шт}}$ с учётом коэффициента выполнения нормы $K_{\text{вн}}$, значение которого в рассматриваемом варианте производства принимается $K_{\text{вн}} = 1,03$ » [14]:

$$n_{\text{расч}} = t_{\text{шт}} \cdot \Pi_{\Gamma} / (F_{\text{э}} \cdot K_{\text{вн}}). \quad (5)$$

«Расчёт по формуле (5) для базового варианта построения технологического процесса позволяет получить количество оборудования $n_{\text{расч.}} = 58,1 \cdot 70 / (2054 \cdot 1,03) = 1,9$. Расчёт по формуле (5) для проектного варианта построения технологического процесса позволяет получить количество оборудования» [14] $n_{\text{расч.}} = 8,5 \cdot 70 / (2054 \cdot 1,03) = 0,2$. Следует принять ближайшее большее натуральное значение, которое для проектного и базового вариантов составляет 1 и 2 соответственно. Коэффициент загрузки оборудования $K_{\text{з}}$, который рассчитывается как отношение расчётного и принимаемого количества оборудования по вариантам технологии:

$$K_{\text{з}} = n_{\text{расч}} / n. \quad (6)$$

Расчёт по формуле (6) для базового и проектного вариантов позволяет получить $K_{\text{з}} = 1,9/2 = 0,96$ и $K_{\text{з}} = 0,2/1 = 0,2$ соответственно, что объясняется повышением производительности труда при реализации проектного варианта технологического процесса.

4.4 Заводская себестоимость

Для определения размеров технологической себестоимости $C_{\text{тех}}$ проведения работ согласно рассматриваемым вариантам технологического процесса необходимо выполнить отдельный расчёт составляющих: «затрат на материалы M , фонда заработной платы ФЗП, отчислений на социальные нужды $O_{\text{сс}}$, затрат на оборудование $Z_{\text{об}}$ и затрат на площади $Z_{\text{пл}}$. Расчёт расходов на сварочные материалы проводится с учётом их цены $C_{\text{м}}$, нормы расхода $N_{\text{р}}$ и коэффициента транспортно-заготовительных расходов $K_{\text{тз}}$, значение которого для рассматриваемого производства согласно таблице исходных данных составляет $K_{\text{тз}} = 1,05$ » [14]:

$$M = C_{\text{м}} \cdot N_{\text{р}} \cdot K_{\text{тз}} . \quad (7)$$

«Расчёт по формуле (7) для базового варианта технологии позволяет получить $M = 500 \text{ руб/кг} \cdot 50 \text{ кг} \cdot 1,05 = 26250 \text{ руб}$. Расчёт по формуле (7) для проектного варианта технологии позволяет получить значение $M_{\text{баз.}} = 500 \text{ руб/кг} \cdot 50 \text{ кг} \cdot 1,05 = 26250 \text{ руб}$.

Фонд заработной платы ФЗП предприятия характеризует расходы на основную заработную плату $Z_{\text{осн}}$ и дополнительную заработную плату $Z_{\text{доп}}$, которые рассчитываются с учетом часовой тарифной ставки $C_{\text{ч}}$, коэффициента доплат $K_{\text{д}}$ и коэффициента дополнительных затрат $K_{\text{доп}}$. Для рассматриваемого производства по таблице исходных данных принимается $C_{\text{ч}}=200 \text{ руб.}$, $K_{\text{д}}=1,88$ и $K_{\text{доп}}=0,12$. Расчёт величины $Z_{\text{осн}}$:

$$Z_{\text{осн}} = t_{\text{шт}} \cdot C_{\text{ч}} \cdot K_{\text{д}}. \quad (8)$$

Применение (8) для базового варианта позволяет получить величину $Z_{\text{осн}} = 58,1 \cdot 200 \cdot 1,88 = 21826 \text{ руб}$. Применение (8) для проектного варианта позволяет получить величину $Z_{\text{осн.}} = 8,5 \cdot 200 \cdot 1,88 = 3185 \text{ руб.}$ » [14].

Расчёт величины $Z_{\text{доп}}$ предусматривает применение следующей математической зависимости:

$$Z_{\text{доп}} = Z_{\text{осн}} \cdot K_{\text{доп}}. \quad (9)$$

Применение (9) для базового варианта позволяет получить величину $Z_{\text{доп}} = 21826 \cdot 0,12 = 2619$ руб. Применение (9) для проектного варианта позволяет получить величину $Z_{\text{доп}} = 3185 \cdot 0,12 = 382$ руб.

Расчёт величины ФЗП:

$$\text{ФЗП} = Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}. \quad (10)$$

Применение (10) «для базового варианта позволяет получить величину $\text{ФЗП} = 21826 + 2619 = 24445$ руб.. Применение (10) для проектного варианта позволяет получить величину $\text{ФЗП} = 3185 + 382 = 3567$ руб.» [14]

Уменьшение значения ФЗП для проектного варианта по сравнению с базовым вариантом технологии происходит по причине повышения производительности труда, а не снижения часовой тарифной ставки, таким образом, работники предприятия с учётом снижения трудоемкости процесса не теряют в заработной плате.

«Размер отчислений на социальные нужды $O_{\text{сн}}$ определяется с учетом ранее определенных значений ФЗП для рассматриваемых вариантов и коэффициента отчислений на социальные нужды $K_{\text{сн}}$, значение которого для рассматриваемого производства из таблицы исходных значений принимается $K_{\text{сн}}=0,34$. Расчёт величины $O_{\text{сн}}$:

$$O_{\text{сн}} = \text{ФЗП} \cdot K_{\text{сн}}. \quad (11)$$

Применение (11) для базового варианта позволяет получить величину $O_{\text{сн}} = 24445 \cdot 0,34 = 7333$ руб. Применение (11) для проектного варианта позволяет получить величину $O_{\text{сн}} = 3567 \cdot 0,34 = 1070$ руб.

Для того, чтобы рассчитать размер затрат на оборудование $Z_{\text{об}}$, необходимо предварительно определить составляющие: амортизационные отчисления $A_{\text{об}}$ и затраты на электрическую энергию $P_{\text{э}}$.

При расчете величины $A_{\text{об}}$ применяются ранее определенные значения $F_{\text{э}}$ и $t_{\text{маш}}$, а также принятые для рассматриваемого производства норма

амортизации H_a и стоимость оборудования $\Pi_{об}$ » [14], значения которых берутся из таблицы исходных данных. Расчёт величины $A_{об}$:

$$A_{об} = \frac{\Pi_{об} \cdot H_a \cdot t_{маш}}{F_3 \cdot 100}. \quad (12)$$

Применение (12) для базового варианта позволяет получить величину $A_{об} = 450000 \cdot 21,5 \cdot 58,1 / 2054 / 100 = 2734$ руб. Применение (12) для проектного варианта даёт $A_{об} = 2450000 \cdot 21,5 \cdot 8,5 / 2054 / 100 = 2172$ руб. Увеличение амортизационных отчислений в проектном варианте технологии по сравнению с базовым вариантом технологии объясняется применением более сложного технологического оборудования больше стоимости.

Для расчёта величины $P_{эз}$ выполняется применяется цена электрической «энергии $\Pi_{эз}$, установленная мощность применяемого оборудования $M_{уст}$, машинное время $t_{маш}$ и коэффициент полезного действия. Эти значения были рассчитаны ранее или принимаются из таблицы исходных данных. Расчёт величины $P_{эз}$ » [14]:

$$P_{эз} = M_{уст} \cdot t_{маш} \cdot \Pi_{эз} / КПД. \quad (13)$$

«Применение (13) для базового варианта позволяет получить величину $P_{эз} = 58,1 \cdot 25 \cdot 3,2 / 0,7 = 6640$ руб. Применение (13) для проектного варианта позволяет получить величину $P_{эз} = 8,5 \cdot 40 \cdot 3,2 / 0,7 = 1554$ руб.» [14]

Величина затрат на оборудование $Z_{об}$ определяется как сумма $A_{об}$ и $P_{эз}$:

$$Z_{об} = A_{об} + P_{эз}. \quad (14)$$

Применение (14) для базового варианта позволяет получить величину затрат на оборудование « $Z_{об} = 2734 + 6640 = 9374$ руб. Применение (14) для проектного варианта позволяет получить величину $Z_{об} = 2172 + 1554 = 3762$ руб.

Полученные значения составляющих позволяют рассчитать полное значение технологической себестоимости $C_{тех}$ выполняется как сумма затрат

на материалы M , фонда заработной платы ФЗП, отчислений на социальные нужды O_{cc} , затрат на оборудование $Z_{об}$:

$$C_{тех} = M + \text{ФЗП} + O_{cc} + Z_{об}. \quad (15)$$

Применение (15) для базового варианта позволяет получить величину $C_{тех} = 26250 + 24445 + 7333 + 9374 = 67402$ руб. Применение (15) для проектного варианта позволяет получить $C_{тех} = 26250 + 3567 + 1070 + 3762 = 34649$ руб..

Снижение технологической себестоимости» [14] в проектном варианте технологии обеспечивается за счёт уменьшения размеров фонда заработной платы, затрат на материалы и затрат на оборудование, что объясняется применением более производительного оборудования с расширенными технологическими возможностями.

Для расчётного определения «цеховой себестоимости $C_{цех}$ необходимо применить ранее рассчитанное значение технологической себестоимости $C_{тех}$ и основной заработной платы $Z_{осн}$, а также коэффициент цеховых расходов $K_{цех}$, значение которого для рассматриваемого производства принимается из таблицы исходных данных $K_{цех}=1,5$. Расчёт величины $C_{цех}$:

$$C_{цех} = C_{тех} + Z_{осн} \cdot K_{цех}. \quad (16)$$

Применение (16) для базового варианта позволяет получить величину $C_{цех} = 67402 + 1,5 \cdot 21826 = 67402 + 32739 = 100141$ руб. Применение (16) для проектного варианта позволяет получить $C_{цех} = 34649 + 1,5 \cdot 3185 = 34649 + 4778 = 39427$ руб.

Для расчётного определения заводской себестоимости $C_{зав}$ необходимо применить ранее рассчитанные значения цеховой себестоимости $C_{цех}$ и основной заработной платы $Z_{осн}$, а также коэффициент заводских расходов $K_{зав}$, значение которого для рассматриваемого производства принимается из таблицы исходных значений $K_{зав}=1,15$. Расчёт величины $C_{зав}$:

$$C_{зав} = C_{цех} + Z_{осн} \cdot K_{зав}. \quad (17)$$

Применение (17) для базового варианта позволяет получить значение $C_{зав} = 100114 + 1,15 \cdot 21826 = 100114 + 25100 = 125214$ руб. Применение (17) для проектного варианта дает $C_{зав} = 39427 + 1,15 \cdot 3185 = 39427 + 3663 = 43090$ руб.» [14].

Для анализа которых на рисунке 35 представлена диаграмма, демонстрирующая состав заводской себестоимости по базовому и проектному вариантам технологического процесса.

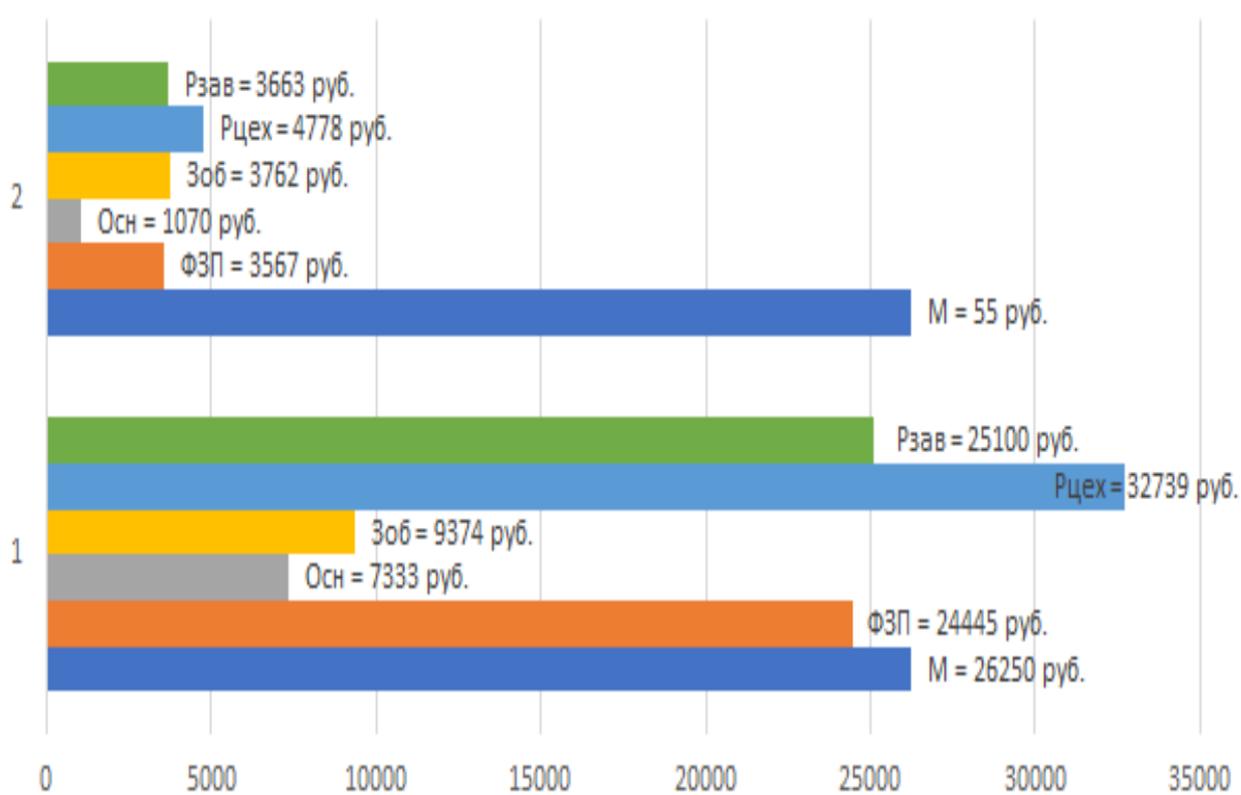


Рисунок 35 – Состав заводской себестоимости

Снижение заводской себестоимости в проектном варианте технологии обеспечивается за счёт уменьшения величины технологической себестоимости и величины цеховых и заводских расходов.

Высокая эффективность предлагаемых решений доказывается уменьшением величины заводской себестоимости в проектном варианте по сравнению с базовым вариантом. Но для расчётного определения показателей экономической эффективности требуется рассчитать капитальные затраты.

4.5 Капитальные затраты по рассматриваемым вариантам

Первоначально следует определиться с «величиной остаточной стоимости оборудования $\Pi_{об.б.}$, использование которого выполнялось при реализации базовой технологии. При продолжительности эксплуатации $T_c=2$ года и цене оборудования $\Pi_{перв.} = 450$ тыс. руб. с учетом нормы амортизационных отчислений $H_a=21,5\%$ » [14]:

$$\Pi_{об.б.} = \Pi_{перв.} - (\Pi_{перв.} \cdot T_{сл} \cdot H_a / 100). \quad (18)$$

«Применение (18) для базового варианта позволяет получить величину $\Pi_{об.б.} = 450000 - (450000 \cdot 2 \cdot 21,5 / 100) = 256500$ руб.

Величина общих капитальных затрат $K_{общ.б.}$ в базовом варианте технологии рассчитывается по ранее полученному коэффициенту загрузки K_z и остаточной стоимости $\Pi_{об.б.}$ [14]:

$$K_{общ.б.} = \Pi_{об.б.} \cdot K_{z.б.} = 106500 \cdot 0,57 = 60705 \text{ рублей.} \quad (19)$$

«Капитальные затраты на оборудование при реализации проектного технологического процесса $K_{об.пр.}$ рассчитываются с учётом цены оборудования по проектному варианту $\Pi_{об.пр.}$, коэффициента транспортно-заготовительных расходов K_{tz} и коэффициента загрузки оборудования K_z , расчётное значение которого составляет $K_z=0,23$. Из таблицы исходных данных принимается $\Pi_{об.пр.}=2450$ тыс. рублей, $K_{tz}=1,05$. Капитальные затраты по на оборудование по проектному варианту составят» [14]

$$K_{об.пр.} = \Pi_{об.пр.} \cdot K_{tz} \cdot K_{zп} = 2450000 \cdot 1,05 \cdot 0,23 = 591675 \text{ руб.} \quad (20)$$

«Далее рассчитывают расходы на демонтаж оборудования с учётом коэффициента расходов на демонтаж $K_{дем}=0,05$ и цены оборудования $\Pi_{об.б.}=450$ тыс. рублей определяют как» [14]

$$P_{дем} = \Pi_{об.б.} \cdot K_{д} = 2 \cdot 450000 \cdot 0,05 = 45000 \text{ руб.} \quad (21)$$

«Далее рассчитывают расходы на монтаж оборудования с учётом коэффициента расходов на монтаж $K_{\text{мон}}=0,05$ и цены оборудования $C_{\text{об.пр.}}=2450$ тыс. рублей определяют как» [14]

$$P_{\text{монт}} = C_{\text{об. пр.}} \cdot K_{\text{м}} = 2450000 \cdot 1,05 \cdot 0,23 = 591675 \text{ рублей.} \quad (22)$$

«Далее рассчитываем величину сопутствующих расходов как сумму расходов на демонтаж $P_{\text{дем}}$ и расходов на монтаж $P_{\text{монт}}$ » [14]:

$$K_{\text{соп}} = P_{\text{дем}} + P_{\text{монт}} = 15000 + 40000 = 65000 \text{ рублей.} \quad (23)$$

«Величину капитальных затрат по проектной технологии $K_{\text{общ.пр.}}$ рассчитывается как сумма сопутствующих расходов $K_{\text{соп}}$ и капитальных затрат на оборудование $K_{\text{об.пр}}$ » [14].:

$$K_{\text{общ. пр.}} = K_{\text{об. пр.}} + K_{\text{соп.}} = 45000 + 122500 = 167500 \text{ рублей.} \quad (24)$$

Размер дополнительных капитальных затрат $K_{\text{доп}}$ вычисляется с учётом ранее определенных капитальных затрат по базовой технологии $K_{\text{общ. б.}}$ и капитальных затрат по проектной технологии $K_{\text{общ. пр.}}$:

$$K_{\text{доп}} = K_{\text{общпр}} - K_{\text{общб}} = 591675 + 167500 = 759175 \text{ рублей.} \quad (25)$$

Размер удельных капитальных затрат $K_{\text{уд}}$ рассчитывается по капитальным вложениям $K_{\text{доп}}$ с учётом годовой программы $\Pi_{\text{Г}}$:

$$K_{\text{уд}} = K_{\text{общ}} / \Pi_{\text{Г}}. \quad (26)$$

«Для базового варианта технологического процесса величина удельных капитальных» [14] затрат составляет $K_{\text{уд}} = 492480/70 = 7035$ рублей за 1 километр трубопровода. Для проектного варианта технологического процесса величина удельных капитальных затрат составляет $K_{\text{уд}} = 759175/70 = 10845$ рублей за 1 километр трубопровода.

4.6 Расчёт изменяющихся технологических показателей

Доказательство целесообразности внедрения предлагаемых технологических решений в современное производство выполняется по результатам анализа показателей экономической эффективности. Снижение трудоемкости $\Delta t_{шт}$ оценивается по изменению значения штучного времени $t_{шт}$:

$$\Delta t_{шт} = (t_{шт\ б} - t_{шт\ пр}) \cdot 100 \% / t_{шт\ б} = (58,1 - 8,5) \cdot 100 \% / 58,1 = 85 \% \quad (27)$$

Расчёт повышения производительности труда Π_T :

$$\Pi_T = 100 \cdot \Delta t_{шт} / (100 - \Delta t_{шт}) = 100 \cdot 85 / (100 - 85) = 567 \% \quad (28)$$

Расчёт снижения технологической себестоимости:

$$\Delta C_{тех} = (C_{тех.б.} - C_{тех.пр.}) \cdot 100\% / C_{тех.б.} = (67402 - 34649) \cdot 100\% / 67402 = 49 \% \quad (29)$$

Условно-годовая экономия $\mathcal{E}_{уг}$ позволяет оценить величину экономического эффекта без учета капитальных вложений и рассчитывается с учётом разности заводской себестоимости $C_{зав}$ по вариантам технологии и годовой программы Π_T :

$$\mathcal{E}_{уг} = (C_{зав.б.} - C_{зав.пр.}) \cdot \Pi_T = (125241 - 43090) \cdot 70 = 5750570 \text{ рублей.} \quad (30)$$

Эффективность внедрения предлагаемых технологических решений характеризуется сроком окупаемости $T_{ок}$:

$$T_{ок} = K_{доп} / \mathcal{E}_{уг} = 86200 / 657500 = 0,2 \text{ года.} \quad (31)$$

Расчёт годового экономического эффекта \mathcal{E}_T с учетом коэффициента окупаемости затрат $E_H=0,33$:

$$\mathcal{E}_T = \mathcal{E}_{уг} - E_H \cdot K_{доп} = 5750570 - 0,33 \cdot 266695 = 5662561 \text{ рублей.} \quad (32)$$

С использованием рассчитанных показателей эффективности можно судить о целесообразности внедрения предлагаемых решений.

Выводы по экономическому разделу

В ходе выполнения экономического раздела выпускной квалификационной работы представлены исходные данные, характеризующие базовую и проектную технологию сварки при исправлении дефектов коррозионного происхождения на магистральных трубопроводах.

На основании анализа особенностей протекания базового и проектного вариантов технологического процесса рассчитаны временные показатели производства.

Далее с использованием исходных данных проведен расчёт составляющих технологической себестоимости проведения сварочных работ, в ходе которого установлено, что внедрение предлагаемых технологических решений позволяет уменьшить размер фонда заработной платы и отчислений на социальные нужды за счёт повышения производительности труда. Также это привело к значительному уменьшению цеховых и заводских расходов, что положительно сказалось на уменьшении заводской себестоимости проведения сварочных работ.

Таким образом, за счёт применения более прогрессивного оборудования и технологий при внедрении предлагаемых решений в производство удастся уменьшить трудоемкость выполнения работ на 85 %, повысить производительность процесса на 567 %. За счёт уменьшения размера основных составляющих технологической себестоимости её величина уменьшается на 49 %. При капитальных вложениях 86,2 тыс. рублей срок окупаемости составляет 0,2 года, а экономический эффект составляет 566 млн. рублей.

Размер ожидаемого экономического эффекта может быть многократно повышен при расширении области применения предлагаемых решений на другие производства и предприятия, выполняющие ремонт магистральных трубопроводов.

На основании вышеизложенного следует признать эффективность внедрения предлагаемых в настоящей выпускной квалификационной работе технологических решений.

Заключение

На основании краткого анализа состояния вопроса, который представлен во введении, обоснована актуальность выбранной темы выпускной квалификационной работы и сформулирована её цель. При выполнении аналитического раздела дано описание рассматриваемого магистрального трубопровода и представлен перечень дефектов, возникновение которых происходит при «длительной эксплуатации магистральных трубопроводов. Далее выполнен анализ стали, из которой выполнены элементы рассматриваемого магистрального трубопровода, и технологического процесса, который применяется при исправлении рассматриваемых дефектов. На основании анализа известных данных выполнена постановка задач на выпускную квалификационную работу. На основании анализа применяющихся методик диагностики состояния длительно эксплуатируемых магистральных трубопроводов предложено применить дальнедействующий ультразвуковой контроль» [3], позволяющий выполнять проверку состояния поверхности труб одновременно на протяжении нескольких десятков метров. Технические возможности предлагаемой методики доказываются в ходе литературного поиска и примеров положительного применения как зарубежом, так и в России. Для повышения эффективности метода предложено применить комплексный анализ состояния труб, сочетающий как диагностику с применением дальнедействующего ультразвукового контроля, так и стандартные методики контроля для уточнения параметров обнаруживаемых дефектов стенки трубы. «Проведена оценка возможности обеспечения безопасности труда, пожарной безопасности и экологической безопасности производственного участка, предназначенного для выполнения рассматриваемых в выпускной квалификационной работе мероприятий. На основании анализа особенностей выполнения операций проектного технологического процесса удалось идентифицировать производственные факторы, негативное влияние которых

на персонал» [14] не позволяет отнести их к нейтральным факторам и заставляет рассматривать вопрос их нейтрализации с применением как стандартных решений по обеспечению безопасности труда, так и специально разрабатываемых методик и средств. Оценка эффективности применяемых на предприятии средств по обеспечению безопасности труда позволила обосновать отсутствие необходимости проведения работ по генерированию специальных решений. В настоящей выпускной квалификационной работе предложены мероприятия по защите составляющих природы – атмосферы, литосферы и гидросферы от негативного воздействия со стороны производственного участка. Особое внимание следует уделить селективному сбору промышленных отходов и недопустимости несанкционированного их выбрасывания, что может привести к загрязнению гидросферы и литосферы. Далее с использованием исходных данных проведен расчёт составляющих технологической себестоимости проведения работ, в ходе которого установлено, что внедрение предлагаемых технологических решений позволяет уменьшить размер фонда заработной платы и отчислений на социальные нужды за счёт повышения производительности труда. Также это привело к значительному уменьшению цеховых и заводских расходов, что положительно сказалось на уменьшении заводской себестоимости проведения сварочных работ. За счёт применения более прогрессивного оборудования и технологий при внедрении предлагаемых решений в производство удастся уменьшить трудоемкость выполнения работ на 85 %, повысить производительность процесса на 567 %. За счёт уменьшения размера основных составляющих технологической себестоимости её величина уменьшается на 49 %. При капитальных вложениях 266 тыс. рублей срок окупаемости составляет 0,2 года, а экономический эффект составляет 5,66 млн. рублей. Выполнение оценочного экономического раздела позволило заключить, что внедрение в производство предлагаемых решений позволяет повысить экономические показатели предприятия. Таким образом, поставленная цель может считаться достигнутой.

Список используемой литературы и используемых источников

1. Абдрахманова К. Н., Петицкая Ю. Ю., Алянин Р. Ф. Современные методы диагностики магистральных трубопроводов и перспективы применения цифровых технологий // Проблема сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. 2021. № 1. С. 100-110.
2. Белов С. В. Охрана окружающей среды. М. : Машиностроение, 1990. 372 с.
3. Бондаренко А. И. Технологические особенности дефектоскопии протяженных трубопроводов низкочастотными направленными волнами // Техническая диагностика и неразрушающий контроль. 2009. № 2. С. 42-49.
4. Бут В. С., Олейник В. И. Основные направления развития технологии ремонта магистральных трубопроводов в условиях эксплуатации под давлением // Автоматическая сварка. 2007. № 5. С. 42–48.
5. Варламов Д. П., Дедешко В. Н., Канайкин В. А. Повышение надежности магистральных газопроводов при использовании многократной внутритрубной дефектоскопии // Автоматическая сварка. 2012. № 3. С. 28–34.
6. Варламов, Д.П. Прогнозирование рисков безопасной эксплуатации линейной части магистральных газопроводов, склонных к коррозионному растрескиванию под напряжением: диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук. – Москва: Российский государственный университет нефти и газа имени И.М. Губкина. – 2014.
7. Велиюлин И. И. Маркеры качества капитального ремонта газонефтепроводов // Территория НЕФТЕГАЗ. 2019. № 9. С. 80-88.
8. Велиюлин И. И., Решентинков А. Д., Мигунов Д. К. Анализ эффективности применяемых технологий и разработка новых подходов к организации ремонта трубопроводов // Территория НЕФТЕГАЗ. 2012. № 11. С. 76-81.
9. Вышемирский Е. М. Основные направления реализации технической политики ПАО «Газпром» в области сварки и контроля качества сварных

соединений при строительстве и ремонте газопроводов // Газовая промышленность. 2017. № 2. С. 80-87.

10. Горина Л. Н. Обеспечение безопасных условий труда на производстве: учебное пособие. Тольятти : ТолПИ, 2000. 68 с.

11. Землянский А. В., Карпенко Г. В., Сарнавский А. Н. Результаты опытно-промышленного внедрения средств механизированного ультразвукового контроля на объектах ООО «Стройгазмонтаж» // Территория НЕФТЕГАЗ. 2015. № 11. С. 54-58.

12. Климов П.В., Валекжанин Д.Ю. Некоторые особенности развития стресс-коррозионных трещин // Энергоэффективность. Проблемы и решения: матер. XI Всеросс. науч.-практ. конф. Уфа: ИПТЭ РБ, 2011. С. 179-180.

13. Комаров В. А., Федотов А. А., Денисова Л. А. Обнаружение дефектов магистральных трубопроводов системами виброакустического контроля // Омский научный вестник. 2019. № 4. С. 89-96.

14. Краснопевцева И. В. Экономическая часть дипломного проекта : метод. указания. Тольятти : ТГУ, 2008. 38 с.

15. Лисанов М. В., Савина А. В., Дегтярев Д. В. Анализ российских и зарубежных данных по аварийности на объектах трубопроводного транспорта // Безопасность труда в промышленности. 2010. № 7. С. 16–22.

16. Лисин Ю. В. Совершенствование методов подготовки и проведения капитального ремонта магистральных нефтепроводов: диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук. Москва: АК «Транснефть». 1999.

17. Павлова З.Х., Азметов Х.А., Абдрахманов Н.Х., Павлова А.Д. Оценка и обеспечение безопасности эксплуатации нефтегазопроводов в условиях нестационарности технологических параметров // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2018. Т. 329. № 1. С. 132-139.

18. Павлова И. А., Павлов А. С. Технико-экономический анализ при внедрении инновации на производственном предприятии // Экономический анализ: теория и практика. 2014. № 40. С. 14–21.

19. Панина Е. В. Усиление роли стратегического планирования в условиях введенных против России экономических санкций // Московский экономический форум МЭАФ-2022. 2022.

20. Патент 2626583 РФ. Способ обнаружения и классификации изменений параметров оболочки трубопровода и окружающей среды / Епифанцев Б. Н., Комаров В. А., Нигрей Н. Н. Заявл. 29.08.2016. Опубл. 28.07.2017, Бюл. № 22, 13 с.

21. Поляков С. Г., Ныркова Л. И., Мельничук С.Л. Диагностика коррозионного состояния внутренней поверхности магистрального нефтепровода // Автоматическая сварка. 2010. № 12. С. 24–28.

22. Поляков С.Г., Ныркова Л.И., Мельничук С.Д. Методический подход к изучению внутренней коррозии магистральных нефтепроводов // Физ.-хим. мех. материалов. 2008. № 7. С. 756–760.

23. Прусенко Б. Е., Мартынюк В. Ф. Анализ аварий и несчастных случаев на трубопроводном транспорте. М. : ООО «Анализ опасностей», 2003. 352 с.

24. Ремизов Д. И., Дзюба Д. С. К вопросу оптимизации капитального ремонта линейной части магистральных газопроводов // Территория НЕФТЕГАЗ. 2012. № 5. С. 72-78.

25. Салюков В. В., Харионовский В. В. Магистральные газопроводы. Диагностика и управление техническим состоянием. М. : Недра, 2016. 213 с.

26. Сараев Ю. Н. Безбородов, В. П., Тютев А. В. Влияние режима сварки на формирование структуры и свойства сварных соединений // Обработка металлов. 2005. № 1. С. 25–26.

27. Сараев Ю. Н., Безбородов В. П., Тютев А. В. Повышение механических свойств и структура неразъемных соединений труб нефте- и

газопроводов из низколегированных марганцовистых сталей после импульсной сварки // Технология машиностроения. 2003. № 6. С. 41–44.

28. Сумской С. И., Пчельников А. В., Шанина Е. Л. Анализ риска аварий на магистральном трубопроводе, транспортирующем широкую фракцию легких углеводородов // Безопасность труда в промышленности. 2007. № 2. С. 48–52.

29. Трепова С. Ю., Безбородов В. П., Тютев А. В. Влияние режима импульсной сварки на структуру и свойства сварных соединений марганцовистых сталей // Известия Томского политехнического университета. 2004. № 6. С. 102–104.

30. Троицкий В. А., Карманов М. Н., Горбик В. М. Низкочастотный ультразвуковой контроль трубопроводов направленными волнами // Техническая диагностика и неразрушающий контроль. 2016. № 1. С. 7-12.

31. Троицкий В. А. Мониторинг технического состояния магистральных трубопроводов // Техническая диагностика и неразрушающий контроль. 2017. № 3. С. 29–39.

32. Халлыев Н. Х., Салюков В. В., Середа М. Л., Технико-экономические аспекты поддержания эксплуатационной надежности и безопасности магистральных газопроводов, Серия: Транспорт и подземное хранение газа, Москва, 2005. 245 с.

33. Хариновский В. В. Работоспособность газопроводов с большими сроками эксплуатации // Газовая промышленность. 2017. № 5. С. 56–61.

34. Шевченко А. А., Семенова Е. С., Шабурова Н. А. Определение причин низкой ударной вязкости кольцевого сварного шва // Вестник ЮУрГУ, серия «Металлургия». 2019. Т. 19. № 2. С. 63–70.

35. Юхимец, П.С. Экспериментальное обоснование метода расчёта остаточного ресурса трубопроводов с коррозионными повреждениями / П.С. Юхимец, Э.Ф. Гарф, В.А. Нехотящий // Автоматическая сварка. – 2005. – № 11. С. 17–21.

36. Abdrakhmanova K.N. Possibilities of an Object Digital Twin Application in Order to Extend and Predict Safe Operation Resource // Materials of the International University Science Forum. Toronto, Canada. 2020. P. 182-186.

37. Albanova E.V., Krapivsky E.I., Nekuchaev V.O. Research of possibilities of an estimation of a technical condition of pipelines by means of magnetic methods // Environment protection in an oil and gas complex. 2005. N 11. P. 9-12.

38. Barreto C.V., Gonçalves L.F., Azevedo L.F. Optimization of Pump Energy Consumption in Oil Pipelines // Pipeline Technologies – 2004: Materials of International Pipeline Conference. Calgary, Alberta, Canada. 2004. Vol. 1-3. Paper No. IPC2004-0385. P. 23-27.

39. Denisova L. A., Meshcheryakov V. A. Control systems design: the technology of stochastic perturbations simulation // Journal of Physics Conference Series. 2018. P. 12-20.

40. Rose I. L. Ultrasonic waves in solid media // Cambridge University Press. New York, 1999. P. 77–82.