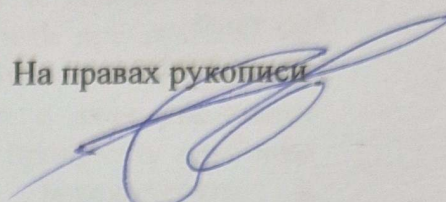


Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Комсомольский-на-Амуре государственный университет»

На правах рукописи



Загнетов Валентин Александрович

**РАЗРАБОТКА КОМПЛЕКСА РЕНГЕНОСКОПИЧЕСКОЙ
ТОЛЩИНОМЕТРИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ТРУБОПРОВОДОВ
ООО «РН-КНПЗ»**

Направление подготовки
15.04.01 «Машиностроение»

**АВТОРЕФЕРАТ
МАГИСТЕРСКОЙ ДИССЕРТАЦИИ**

Коротченко
Лариса Никитовна

Проверено

20.06.2025 Зачтено Библиотека

2025

Работа выполнена в ФГБОУ ВО «Комсомольский-на-Амуре государственный университет», на кафедре «Технология сварочного и металлургического производства имени В.И. Муравьева»

Научный
руководитель:

Бахматов Павел Вячеславович,
кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой
«Технология сварочного и металлургического производства
имени В.И. Муравьева» Комсомольского государственного
университета» ФГБОУ ВО «Комсомольского-на-Амуре
государственного университета», г. Комсомольск-на-Амуре

Рецензент:

Жилин Сергей Геннадьевич,
кандидат технических наук, доцент, ведущий научный
сотрудник лаборатории проблем создания и обработки
материалов и изделий обособленного подразделения
Института машиноведения и металлургии Дальневосточного
отделения Российской академии наук ФГБУН Хабаровского
федерального исследовательского центра Дальневосточного
отделения Российской академии наук, г. Комсомольск-на-
Амуре

Защита диссертации состоится 20 июня 2025 г. в 14:00 часов на заседании государственной экзаменационной комиссии по направлению подготовки 15.04.01 «Машиностроение» в Комсомольском-на-Амуре государственном университете по адресу: 681013, г. Комсомольск-на-Амуре, пр. Ленина, 27, ауд. 221/2.

Автореферат разослан 16 июня 2025 г.

Секретарь ГЭК,
к.т.н., доцент

Клешнина О.Н.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность тема. Нефтеперерабатывающее производство – сложный производственный комплекс, состоящий из большого числа оборудования и систем, связанных технологическими трубопроводами с постоянным потоком продукта, находящимся под давлением и в условиях повышенных температур. Установки нефтепереработки эксплуатируются в сложных климатических и технологических условиях. От состояния трубопровода зависит работоспособность предприятия. В работах Муравьева В. И., Евстигнеева А. А., Бахматова П. В., Бутина А. В. указано, что до 40 % аварий на трубопроводных системах связано с коррозионными разрушениями. В общем технологическом цикле переработки продуктов наиболее часто встречаются случаи коррозионного разрушения переходников в трубопроводных системах.

Из всего многообразия локальных видов разрушения материалов можно сделать вывод, что в агрессивных жидкостях повреждения происходят особенно быстро в результате двойного воздействия как кавитационной эрозии, так и коррозии. Эрозия разрушает поверхность металла и способствует удалению с нее защитной окисной пленки, создавая тем самым идеальные условия для коррозии.

Кавитация – как один из способов коррозионно-эрозионного процесса нефтепереработки имеет высокие эксплуатационные риски по причине своей малоизученности и отсутствия эффективных способов диагностирования. При своевременном выявлении и контроле коррозионно-эрозионных процессов кавитации на действующем оборудовании возрастает возможность прогнозирования и определения безопасного срока эксплуатации, своевременного планирования и производства ремонтных работ и снижения возможного внепланового ремонта, финансовых потерь по причине внепланового выхода из строя действующего оборудования, нанесения ущерба оборудованию и эксплуатационному персоналу.

До настоящего времени нет единого мнения о механизмах локального разрушения трубопроводных систем в процессе переработки нефтепродуктов, а отсюда и единого мнения по устранению причин данного явления. Поэтому материаловедческое обоснование и исследование эволюции структурных изменений при локальном разрушении трубных элементов с целью обеспечения их эксплуатационной надежности – актуальная задача современной нефтеперерабатывающей промышленности.

В настоящее время процесс изменения толщины стенки технологических трубопроводов в производственных условиях ООО «КНПЗ» преимущественно определяют ультразвуковой толщинометрией, требующей снятия теплозащитного покрытия и кожуха, точного определения места контроля и не гарантирующей обнаружения очагов образования сквозных дефектов вблизи контрольного места.

Цель работы: предупреждение аварийных ситуаций, вызванных очаговым эрозионно-кавитационным разрушением трубопровода путем повышения оперативности и информативности контроля изменения толщины стенки действующих технологических трубопроводных систем оборудования нефтепереработки.

Для достижения цели были решены следующие задачи:

1. Установление природы локальных разрушений реальных трубопроводов нефтепереработки.
2. Анализ эффективности методов обнаружения и контроля локализованных очагов разрушений.

3. Изучение совокупности применяемого оборудования и параметров проведения толщинометрии рентгеноскопией.

4. Разработка проекта комплекса автоматического рентгеноскопического определения остаточной толщины стенки эксплуатируемого технологического трубопровода и исследование его технологических возможностей.

Объекты исследования. Участок технологического трубопровода «отвод П90-108*6,0» из стали марки 09Г2С технологического трубопровода №В3/4 «Возврат-циркуляция технологической воды от Н-125 в Р-103».

Предмет исследования. Применение комплекса рентгеноскопии для профилометрии технологического трубопровода.

Научная новизна.

На основе исследования очагов эрозионного разрушения технологических трубопроводов установлено, что кавитационные процессы усиливают эрозию внутренней стенки технологического трубопровода, сокращают межремонтный период. Причиной возникновения кавитации может послужить усиление корневого валика. Нахождение минимальной допустимой величины усиления, гарантирующих отсутствие кавитации является актуальной задачей, требующей проведения, как натурных экспериментов, так и нахождения математических расчетов, способствующих прогнозированию возникновения кавитации в конкретных условиях работы трубопровода и сформированного сварщиком обратного валика.

Теоретическая и практическая значимость работы.

Установлены параметры рентгеноскопической толщинометрии с использованием Стапель 5 Ir 192, цифрового детектора DXR250C-W с программным обеспечением Rhythm, с фильтром улучшения изображения, позволяющие проводить контроль сварных швов и коррозионного состояния технологического трубопровода диаметром до 159x8 мм с продуктом и через изоляцию и оценивать геометрические параметры корневого валика и профилометрии трубы и по градиенту серого.

Разработан калькулятор вероятности возникновения кавитации в трубопроводе в зависимости от геометрических параметров корневого валика сварного шва и характеристик потока продукта, предназначенный для определения вероятности возникновения кавитации в трубопроводах различного назначения в зависимости от характеристик потока продукта и геометрических параметров корневого валика сварного шва. Калькулятор может быть применен для расчета вероятности возникновения кавитации в технологических трубопроводах различного назначения (авиационные, судовые, оборудования нефтепереработки, нефтехимии, пищевой промышленности) в двух случаях: при конструировании линии трубопровода, ограничивая геометрические параметры усиления корневого валика требованиями конструкторской документации; при проведении контроля уже созданных сварных соединений трубопровода, определяя возможность кавитации от измеренных геометрических параметров корневого валика шва.

Предложен проект автоматизированного комплекса для определения остаточной толщины стенки технологического трубопровода (толщинометрии), основанного на рентгеноскопии.

Методология и методы исследований. В проведенных исследованиях применялись методы ультразвуковой толщинометрии и рентгеноскопической профилометрии, методы микроструктурного анализа и фрактографии.

Основные положения, выносимые на защиту.

1. Результаты изучения природы локальных разрушений реальных трубопроводов нефтепереработки и анализ эффективности методов обнаружения и контроля локализованных очагов разрушений.

2. Результаты анализа эффективности методов, применяемых для определения остаточного ресурса технологических трубопроводов оборудования нефтепереработки.

3. Программа-калькулятор для определения вероятности возникновения кавитации в трубопроводах различного назначения в зависимости от характеристик потока продукта и геометрических параметров корневого валика сварного шва.

4. Проект рентгеноскопического комплекса для профилометрии технологических трубопроводов оборудования нефтепереработки.

Личный вклад автора заключается в совместной с научным руководителем постановке задач исследования, формулировке положений и вывод, выносимых на защиту и написание статей по результатам проведенных исследований.

Апробация работы. Основные результаты работы докладывались на Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых «Наука, инновации и технологии: от идей к внедрению» (Комсомольск-на-Амуре, 2023/24 г).

Публикации. Результаты работы представлены в 4 публикациях, 2 из которых в материалах научных конференций, 1 статья в рецензируемом научном журнале, рекомендованном ВАК РФ, 1 свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ.

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, основных выводов и списка цитируемой литературы, включающего 42 наименований. Диссертация содержит 79 страниц; в том числе 1 рисунок; 11 таблиц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении приведены актуальность, научная новизна, практическая значимость работы, определены цели и задачи исследования.

В первой главе приведены основные характеристики оборудования и проведен сравнительный анализ с учетом условий эксплуатации.

Проведенный анализ патентных и литературных источников, касающихся совершенствования и развития технологии рентгеноскопии для определения толщины стенки технологического трубопровода, показал, что:

- изучена технология успешного использования рентгеноскопического контроля на технологических трубопроводах труб;
- проанализированы преимущества использования данного контроля, время проведения контроля и качество получения контроля.

Во второй главе описаны методы, оборудование и материалы, используемые в экспериментальных исследованиях.

Для оценки влияния коррозионных процессов предоставлены образцы разрушенного трубопровода теплообменного аппарата на установке первичной переработки нефти (рисунок 1).

Ультразвуковая толщинометрия проводилась дефектоскопом EPOCH LTC (OLYMPUS) прямым ПЭП.

Микроструктурные исследования проводили на микроскопе Nikon MA200. Пробоподготовку для микроструктурного анализа проводили с помощью

шлифовально-полировального станка Buehler AutoMet 250 с последующим травлением в 5 % спиртовом растворе азотной кислоты 10-20 секунд до проявления микроструктуры. Фрактография образцов проводилась на растровом электронном микроскопе Hitachi S-3400N. Для проведения фрактографии образцы подвергали очистке спиртом в ультразвуковой ванне BST-200.

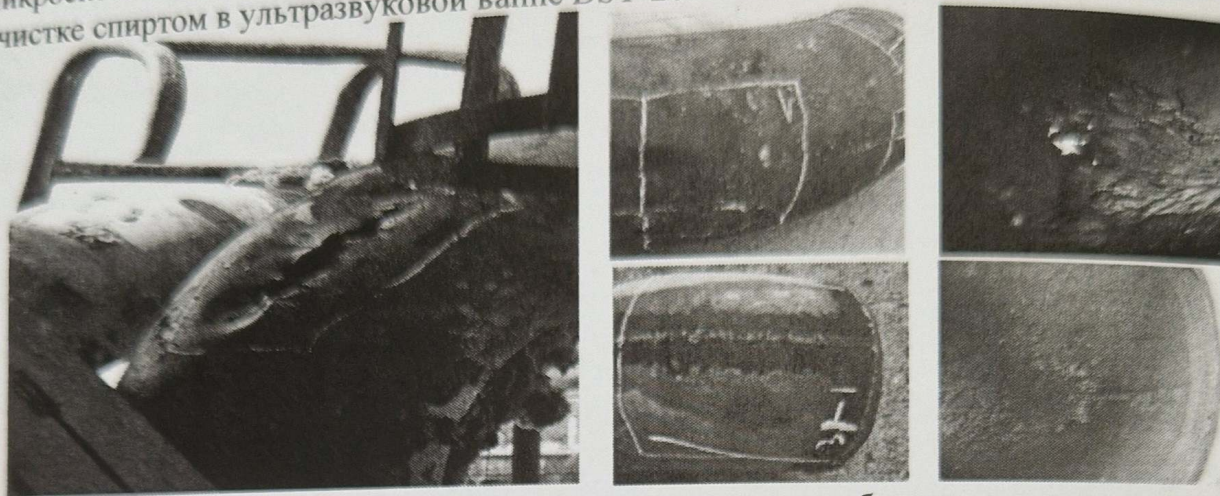


Рисунок 1 – Внешний вид исследуемых образцов

Профилометрию рентгеноскопией проводили с использованием Стапель 5 Ir 192, цифрового детектора DXR250C-W с программным обеспечением Rhythm и фильтром улучшения изображения на технологическом трубопроводе диаметром до 159x8 мм с продуктом и через изоляцию.

В третьей главе рассмотрен калькулятор расчета вероятности возникновения кавитации, приведены расчеты и построены графики зависимости на примере технологических трубопроводах различного назначения (авиационные, судовые, оборудования нефтепереработки, нефтехимии, пищевой промышленности) в двух случаях: при конструировании линии трубопровода, ограничивая геометрические параметры усиления корневого валика требованиями конструкторской документации; при проведении контроля уже созданных сварных соединений трубопровода, определяя возможность кавитации от измеренных геометрических параметров корневого валика шва. Данная калькулятор обладает возможностью включения в существующие программное обеспечение, такие как отечественный Red OS или международные Windows. Так же в главе рассмотрена техническая возможность внедрения в отечественные программы, такие как «Галактика ЕАМ», что позволит путем автоматического расчета кавитации, скорости коррозии, свети к минимуму человеческую ошибку при составлении коррозионных карта и оперативно получать скорость коррозии в реальном времени, что позволит производить оперативные ремонты в период межремонтного простоя и уменьшить риски внеплановых выходов, возможных аварийных ремонтов в нулю, тем самым позволит поднять надежность технологического оборудования.

Коррозионное разрушение характеризуется локальностью на входном и выходном патрубках прохождения головного отводного продукта и отвода печного змеевика. Локально неравномерное разрушение наблюдается и в самих поражённых коррозией участках. Неравномерное коррозионное разрушение в виде сферических лунок, образующих цепочки, распространяется в направлении движения рабочей жидкости. Глубина и размеры сферических лунок различны и могут быть как поверхностными, так и сквозными, последние являются зародышами образования трещин.

Общая зона повышенного коррозионного износа неравномерна и по окружности патрубка, т. е. сохранение исходной толщины патрубка с одной стороны и утонения с другой стороны вплоть до разрушения стенки.

На внутренней поверхности змеевика чётко видны чёрные отложения, характерные для сульфидного металла. Толщина плёнки незначительна, она хорошо сцеплена с основным металлом и не имеет рыхлости. Локальные участки коррозионного повреждения характеризуются неравномерным распределением вдоль оси патрубков вытянутых лунок диаметром 5...7 мм и глубиной 0,1...2,0 мм, образующих как бы вытянутые бороздки. Характер распределения глубины поражений на исследуемых образцах виден на профилограммах толщины стенки, полученных методом ультразвукового сканирования с наружной стороны трубы (рисунок 3).

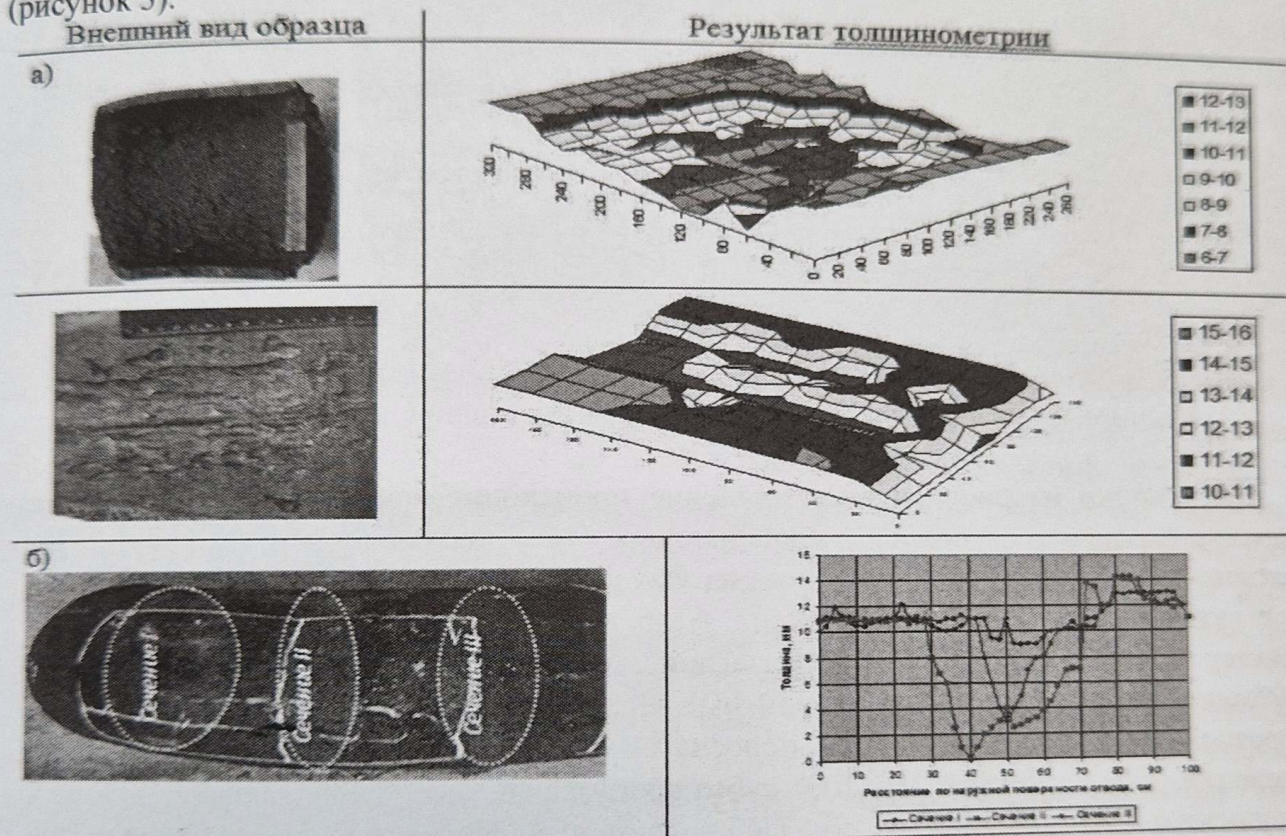


Рисунок 3 - Профилограммы распределения глубины поражений линейные (а) и объёмные в развёртке трубы (б)

Зона повышенного коррозионного износа характеризуется неравномерностью по окружности, приводя к уменьшению толщины патрубка вплоть до нулевой.

Результаты ультразвуковой толщинометрии методом сплошного сканирования по трём сечениям отвода показали, что в сечении I толщина остаётся практически одинаковой во всех точках (на уровне 10 мм), а в местах турбулизации потока на радиусе изгиба (сечения II и III) – интенсивный местный коррозионный износ. Если для сечения I все зоны турбулизации потока расчётная скорость коррозии за 7-летний период эксплуатации составила около 0,3 мм/г, то в зоне турбулизации (сечения II и III) – 1,7 мм/г. Объёмный характер распределения глубины поражений в развёртке трубы свидетельствует о локализации поражений в определённой зоне.

Монтажные сварные кольцевые швы по концам отвода, выполненные, согласно технической документации, аустенитными электродами марки ЭА-395/9, в том числе то соединение, которое попало в зону воздействия турбулентных потоков, не имеют следов коррозии, что указывает на их высокую коррозионную стойкость.

Электронная микроскопия поверхности коррозионного разрушения показывает (см. рисунок 4), что характер разрушения металла под продуктами коррозии (см. рисунок 4, б, в) и самих продуктов коррозии (см. рисунок 4, г, д) различается размерами трещин и микротрещин на несколько порядков. Отделение продуктов коррозии происходит целыми конгломератами (рисунок 4,а). На поверхности металла в первоначальный момент формируются вздутия величиной в 15...25 мкм с последующим образованием микротрещин (см. рисунок 4, в).

Общий вид поверхности

Область с удаленной массой продуктов коррозии



Рисунок 4 - Фрактограмма поверхности разрушения патрубка ТСПН

Как видно из рисунка 5, разрушение происходит как вдоль, так и поперёк ферритно-перлитных полос, совпадающих с направлением прессования. Максимальная глубина трещин, заполненных продуктами коррозии, наблюдается в зонах углублений. Разрушение носит межкристаллитный и транскристаллитный характер. Чётко прослеживается образование: локальных коррозионных разрушений и субмикротрещин по границам перлитных зёрен (см. рисунок 5, а); отслаивающихся коррозионных разрушений вдоль полосчатой структуры по границам ферритных скоплений (см. рисунок 5, б); субмикрпузырей, вздутий, предшествующих разрушению (см. рисунок 5, в). Наблюдаются характерные участки продуктов локальной коррозии с формированием коксовых отложений (см. рисунок 5, г, д).

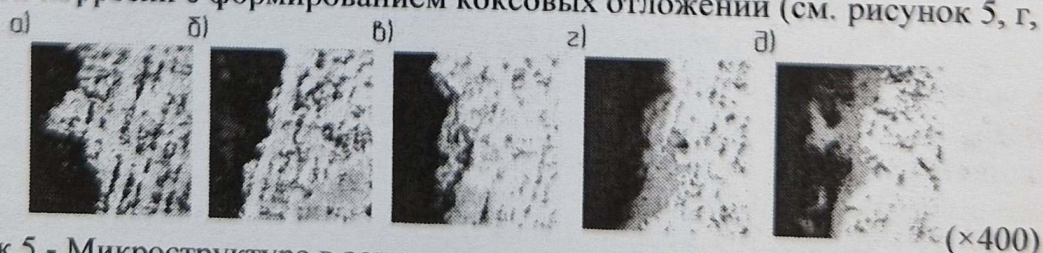


Рисунок 5 - Микроструктура в зоне локально-катастрофического разрушения ТСПН: а – субмикротрещины по границам перлитных зёрен; б – отслаивающиеся разрушения; в – субмикрпузыри; г, д – коксовые отложения

Наибольший интерес вызывают образцы, разрушение поверхности которых происходит либо сразу после встречи потока продукта с усилением корневого валика кольцевого шва, либо по линии продольного шва (см. рисунок 6).

Кольцевой шов

Продольный шов



Рисунок 6 - Вид участков кавитационного разрушения внутренней поверхности трубопровода

Внешний вид участков разрушения говорит о прохождении кавитационного разрушения, при этом характерна сохранность внутренней поверхности стенки трубы до усиления корневого валика кольцевого шва, разрушение корневого валика продольного шва и его зоны термического влияния.

Известно, что при встрече с препятствием в ламинарном потоке жидкого вещества, транспортирующегося по технологическому трубопроводу, возникает срыв потока, его турбулизация и образование кавитационных пузырьков, приводящих к нарушению защитных сульфидных плёнок и ускоряющих процессы локальной эрозии стенки трубы за сварным швом по направлению потока продукта. Также известно, что в условиях ООО «КНПЗ» стальные технологические трубопроводы собираются с применением ручной дуговой сварки (РДС), монтажные стыковые сварные соединения регламентируются ГОСТ 16037-80, преимущественно типом С17, не нормирующим высоту и ширину обратного валика. При этом величина зазора при сборке составляет 1,5...2,0 мм, а СТ ЦКБА 025-2006 допускает величину зазора до 3,5 мм, что гарантирует наличие усиления обратного валика. Величина усиления обратного валика (его ширина, а особенно высота) влияет на изменение проходного сечения трубопровода и вероятность образования кавитации, как местной (при наличии отдельных участков шва с завышенной высотой усиления), так и общей, по всему периметру шва (в случае равномерного завышения усиления).

Естественно, что при отсутствии усиления (нулевая высота) обратного валика кавитация не возникает, но при применении РДС в неповоротных стыках технологического трубопровода усиление валика гарантировано, особенно при наложении валика в нижнем положении.

Нахождение минимальной допустимой величины усиления, гарантирующей отсутствие кавитации, является актуальной задачей, требующей проведения как натурных экспериментов, так и нахождения математических расчётов, способствующих прогнозированию возникновения кавитации в конкретных условиях работы трубопровода и сформированного сварщиком обратного валика.

В настоящее время процесс изменения толщины стенки технологических трубопроводов преимущественно определяют ультразвуковой толщинометрией, имеющей ряд недостатков: - требует снятия теплоизоляции; - точечный контроль; - отсутствие визуализации результатов контроля в объёме исследуемого участка; точность измерения зависит от человеческого фактора и рабочего состояния трубопровода.

В настоящее время рентгеноскопия уже применяется в производственных условиях ООО «КНПЗ» для объёмной профилометрии с целью определения очагов коррозионного разрушения технологических трубопроводов нефтеперерабатывающего оборудования. Этот метод пришёл на смену ультразвуковой толщинометрии, которая требовала снятия теплозащитного покрытия

и кожуха, точного определения места контроля и не гарантировала обнаружения очагов образования сквозных дефектов вблизи контрольного места.

Профилометрия рентгеноскопией также намного предпочтительней рентгенографии, т.к. не требует использования рентгенографической плёнки, а изображение может быть обработано в цифровом формате с увеличением чувствительности в 10 раз (см. рисунок 7).

В отличие от плёнки качество изображения улучшается по мере увеличения времени экспозиции детектора.

В большинстве практических случаев качество изображения лучше, чем на плёнке, получается при времени экспозиции детектора в несколько секунд. Длительные экспозиции позволяют получать изображения сверхвысокого качества.

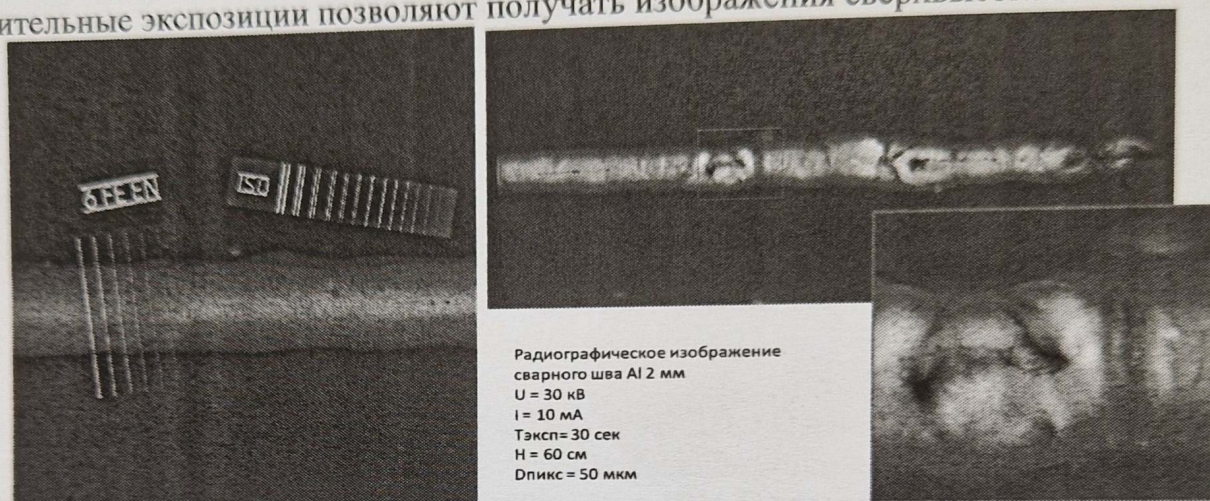


Рисунок 7 - Изображения, полученные рентгеноскопией

Полученное изображение имеет чёткие границы профиля стенки трубы и сварных швов. Наличие продукта позволяет просмотреть границы сварного шва. Визуально наличие следов коррозии можно оценить по состоянию профиля стенки трубы, а также по оттенкам градиентов серого. Контрастность изображения увеличивается со временем захвата изображения.

В ходе проведения работ были получены удовлетворительные результаты на действующих трубопроводах с параметрами контроля труб с диаметром до 219 мм и толщиной стенки до 8 мм. Для определения профилометрии с большим диаметром или толщиной стенки было недостаточно мощности используемого источника.

В четвертой главе приведенные результаты исследования, проведенные с применением плоскопанельных детекторов DXR250C-W, DXR250U-W на объектах подведомственных Ростехнадзору, а так же рассмотрены основные характеристики режимы работы, параметры настройки Стапель 5 Ir 192, Цифровой детектор DXR250C-W, Комплекс Vidisco SparX Pro.

При проведении эксперимента с применением ИИИ Стапель 5Ir192 активность 6Ки на производственных объектах получены результаты для дальнейшей аналитической работы и были проведены ряд экспериментальных исследований связанных с продолжительностью проведения исследований, связанных с различными исследованиями, такими как: диаметр трубопровода, толщины стенки трубопровода, конструктивных особенностей (соединение трубы и отвода, соединение трубы и перехода), наличия защитного теплоизоляционного покрытия, наличия защитного лакокрасочного покрытия на трубопроводе, наличие вибрации и при различных температурных режимах работы и был протестирован климатический фактор проведения контроля.

Оценка выявленных значений проводилась в соответствии с ГОСТ 32569-2013 «Трубопроводы технологические стальные. Требования к устройству и эксплуатации на взрывопожароопасных и химически опасных производствах», ФНП ПБ №444 от 21.12.2021 «Правила безопасной эксплуатации технологических трубопроводов», по результатам исследования была определена фактическая скорость коррозии и периодичная проведения ревизии трубопровода.

Для проведения толщинометрии с применением ИИИ Стапель 5Ir192 и плоскопанельных детекторов разработан опытный образец комплекса рентгеноскопического контроля, данный комплекс состоит из подвижной тележки, устройства крепления источника (Стапель 5Ir192), на противоположной стороне от источника расположи плоскопанельных детекторов, компоновка комплекса выполненного в виде роботизированного «дрона» позволит исследовать межцевые участки трубопроводов с увеличением объема диагностирования и уменьшением времени и объемов на подготовку и исследования (таблица 1).

Принцип изменения геометрии колес тележки позволяет двигаться горизонтально, по ходу движения продукта, так и в противоположном направлении, так и в вертикальном направлении, то есть по блине окружность, данный принцип движения, позволит получать значения толщины стенки трубопровода во всех проекциях и позволит проконтролировать 100% поверхности трубопровода, даже труднодоступные места (такие как врезки, патрубки), описание колесной базы приведено.

Для сравнения необходимости и создания комплекса в сравнение с применением классической ультразвуковой толщинометрии может послужить время диагностики. На примере времени диагностики «труба 108x4,5 протяженностью 8 метров», УЗТ будем проводить (таблица 1):

Таблица 1 – Сравнение методов

Факторы	УЗТ	Комплекс
Оборудование	Толщиномер D970 Olympus	Цифровой детектор DXR250U-W
Геометрический размер датчика	Круглый	Прямоугольный
Размеры датчика	d = 11 мм	S = 400*400 мм
Площадь одного измерения, мм ²	1,89	160000,00
Исследуемая площадь образца, м ² (мм ²)	27,10 (27100000)	27,1 0 (27100000)
Время одного измерения, секунд	3,00	130,00
Время исследования образца, сек	42789473,68	22018,75

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

На основании проведенного патентно-литературного анализа, предложены основные направления теоретико-экспериментальных исследований остаточной толщины трубопроводов с применением рентгеноскопического комплекса.

Рассмотрены технические характеристики, заявленные производителем плоскопанельных детекторов DXR250C-W и DXR250U-W, описан состав и устройства приборов рентгеноскопического комплекса

Проведен сравнительный анализ двух методов толщинометрии (ультразвуковая, рентгеноскопическая), выявлены недостатки и преимущества рентгеноскопического комплекса перед традиционной ультразвуковой толщинометрией.

Выполнены исследования, проведенные с применением плоскопанельных детекторов на объектах подведомственных Ростехнадзору.

Как из расчетов (таблица 1), для исследования поверхности трубы Ду100 типового размера (8 метров) с применением датчика диаметром 11мм ультразвуковым толщиномером потребуется 495 календарных дня непрерывной работы, с применением комплекса это время диагностирования составит 6 календарных дней (при учете, что после первой экспозиции время одного снимка значительно сократится).

Создание прототипа комплекса рентгеноскопической толщинометрии в виде роботизированной системы позволит создать диагностический «дрона» и как следствие обеспечить инновационного прорыва в области технического диагностирования технологических трубопроводов.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикации в рецензируемых изданиях, входящих в перечень ВАК РФ

1. Загнетов, В. А. Предотвращение кавитационных повреждений оборудования нефтепереработки. Методы, технические решения, конструкционные особенности / В. А. Загнетов, П. В. Бахматов // Ученые записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. – 2024. – № 1(73). – С. 111-118. – EDN OYNNUR.

Статьи в сборниках материалов научных конференций

2. Загнетов, В. А. Прогнозирование и применение эффективных методов контроля с кавитационным повреждением технологического оборудования / В. А. Загнетов, П. В. Бахматов // Наука, инновации и технологии: от идей к внедрению : Материалы Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых, Комсомольск-на-Амуре, 16–17 ноября 2023 года. – Комсомольск-на-Амуре: Комсомольский-на-Амуре государственный университет, 2023. – С. 27-30. – EDN PRPYBP.

3. Загнетов, В. А. Кавитационные повреждения оборудования нефтепереработки / В. А. Загнетов, П. В. Бахматов // Наука, инновации и технологии: от идей к внедрению : Материалы III Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых, Комсомольск-на-Амуре, 11–12 декабря 2024 года. – Комсомольск-на-Амуре: Комсомольский-на-Амуре государственный университет, 2025. – С. 41-45. – EDN FEMMUM.

Патенты и свидетельства

4. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2024618963 Российская Федерация. «калькулятор вероятности возникновения кавитации в трубопроводе в зависимости от геометрических параметров корневого валика сварного шва и характеристик потока продукта» : № 2024617931 : заявл. 12.04.2024 ; опубл. 18.04.2024 / В. А. Загнетов, А. С. Кравченко, А. В. Фролов, П. В. Бахматов ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Комсомольский-на-Амуре государственный университет». – EDN IBJVMH.