

На правах рукописи



ФЕДОРОВ АНДРЕЙ ГЕННАДЬЕВИЧ

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИКИ РЕМОНТА
НЕФТЕГАЗОПРОВОДОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ СТАЛЬНЫХ
ОБЖИМНЫХ МУФТ

Специальность 25.00.19 – Строительство и эксплуатация
нефтегазопроводов, баз и хранилищ

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Ухта – 2017

Диссертация выполнена в
Ухтинском государственном техническом университете на кафедре
«Проектирование и эксплуатация магистральных газонефтепроводов
и газонефтехранилищ»

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор,
заместитель генерального директора
по науке АО «Гипрогазцентр»,
Агиней Руслан Викторович

Официальные оппоненты: доктор технических наук,
первый заместитель генерального директора-
главный инженер ООО «Эксиком»,
Велиюлин Ибрагим Ибрагимович

кандидат технических наук,
инженер 1 категории технического отдела
ООО «Газпром трансгаз Нижний Новгород»,
Михалев Андрей Юрьевич

Ведущая организация: ФГБОУ ВО «Самарский государственный
технический университет»

Защита состоится 23 июня 2017 г. в 13⁰⁰ часов на заседании диссертационно-
го совета Д 212.291.02 в Ухтинском государственном техническом университете по
адресу: 169300, г. Ухта, Республика Коми, ул. Первомайская, 13.

С авторефератом и диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ
ВО «Ухтинский государственный технический университет», а также на сайте вуза
по адресу www.ugtu.net в разделе «Наука→Диссертации».

Автореферат разослан « 11 » мая 2017 года.

Вр. и.о. ученого секретаря
диссертационного совета, доктор
физико-математических наук



В.О. Некучаев

Общая характеристика работы

Актуальность темы. В настоящее время в РФ эксплуатируется самая разветвленная и протяженная сеть магистральных нефтегазопроводов в мире, надежно обеспечивая поставки энергоресурсов как внутри страны, так и зарубежным потребителям. Большое количество этих трубопроводов построено в 70-х годах прошлого века и работает сверх установленного проектом срока эксплуатации.

Для обеспечения работоспособности трубопроводов в соответствии с федеральными нормами и правилами в области промышленной безопасности, эксплуатирующие предприятия проводят систематическую работу по диагностированию, обслуживанию и ремонту объектов трубопроводного транспорта.

Ремонт линейной части трубопроводов, как правило, выполняется на одном или нескольких межкрановых участках протяженностью более 30 км с тотальной диагностикой, разбраковкой, переукладкой и переизоляции трубопровода.

Однако опыт показывает, что условия работы трубопроводов на такой большой протяженности могут существенно различаться, при этом концентрация дефектов по длине ремонтируемого участка также различна. Кроме этого, капитальный ремонт участков трубопроводов связан с существенными материальными вложениями и их планированием, а иногда для обеспечения надежной работы нефтегазопроводов требуется срочный ремонт отдельных критических дефектов.

В этих случаях рациональным методом ремонта трубопроводов представляется ремонт с применением муфтовых технологий, которые регламентированы рядом национальных и ведомственных нормативных документов. Наиболее недорогим и технологичным методом ремонта является установка стальных обжимных муфт, которые воспринимают часть эксплуатационных нагрузок и не допускают возникновения чрезмерных напряжений в месте дефекта трубопровода, обеспечивая его надежную последующую эксплуатацию.

Степень разработанности. Существенный вклад в развитие технологий ремонта при помощи муфт внесли многие отечественные и зарубежные ученые и исследователи, среди которых: Ю.В. Александров, И.Н. Бирилло, И.И. Велиюлин, Л.А. Гобарев, А.И. Егоренков, Б.А. Ключ, А.С. Кузьбожев, А.Г. Мазель, С.С. Митрошин, Н.Г. Пермьяков, А.Н. Платонов, К.Е. Ращепкин, С.В. Романцов, А.С. Попков, Е.Л. Чеглаков, В.В. Харионовский, А.М. Шарыгин, В.М. Шарыгин, М.С. Якубовская, Кифнер Д., Мехью В., Хок Брайн, Фоли Н., Шмидат Д., Келти П. В ряде работ показано, что вследствие нормативных отклонений диаметра, овальности и локальной кривизны труб и ремонтных полумуфт, возникают зазоры между сопрягаемыми поверхностями муфты и трубы, снижающие эффективность ремонта.

Таким образом, разработка эффективных технологий ремонта трубопроводов с применением обжимных муфт является актуальной проблемой нефтегазовой отрасли и требует дополнительных теоретических и экспериментальных исследований.

Цель работы – Разработка научно обоснованных технологических и технических решений по совершенствованию капитального ремонта трубопроводных конструкций с применением стальных обжимных муфт в условиях геометрических несовершенств сопрягаемых поверхностей трубопровода и элементов муфты.

Задачи исследования:

1. Исследование фактической геометрии труб условным диаметром 720-1420 мм и полумуфт, предназначенных для их ремонта, включая совершенствование метода и прибора для измерения кривизны крупногабаритных деталей.

2. Теоретические исследования величины зазора между несовершенными поверхностями трубы и муфты, возникающего при установке полумуфт с заданным угловым положением.

3. Постановка и проведение экспериментальных исследований по определению влияния геометрических несовершенств сопрягаемых поверхностей «муфта-труба» на эффективность ремонта.

4. Разработка методики проведения ремонта трубопроводов сварными обжимными муфтами с учетом геометрии муфты и трубы, параметров дефектов, действующих напряжений в стенке трубопровода;

5. Разработка программного обеспечения для выбора и рационального позиционирования полумуфт при ремонте дефектов и внедрение разработанных технологий при ремонте магистрального конденсатопровода «Вуктыл – Сосногорский газоперерабатывающий завод».

Соответствие паспорту специальности. Представленная диссертационная работа соответствует паспорту специальности 25.00.19 – «Строительство и эксплуатация нефтегазопроводов, баз и хранилищ», а именно области исследования: 2 «Разработка и оптимизация методов проектирования, сооружения и эксплуатации сухопутных и морских нефтегазопроводов, нефтебаз и газонефтехранилищ с целью усовершенствования технологических процессов с учетом требований промышленной экологии» и 6 «Разработка и усовершенствование методов эксплуатации и технической диагностики оборудования насосных и компрессорных станций, линейной части трубопроводов и методов защиты от коррозии».

Научная новизна:

1) Экспериментально обнаружена точка излома графика «коэффициент усиления – давление в трубе», соответствующая началу работы муфты (страгивание радиального перемещения муфты) и свидетельствующая о закрывании зазора.

2) Предложена новая формула для определения коэффициента усиления муфты, адекватно работающая в случае применения стальных обжимных муфт, устанавливаемых с зазором, обусловленным несовершенством кривизны труб и муфт.

3) Предложены два критерия установки муфты, обеспечивающие наиболее плотное прилегание муфты к трубе: 1. Минимальные суммарные отклонения радиуса кривизны; 2. Минимальный суммарный зазор между муфтой и трубой, при этом экспериментально доказано, что муфта, установленная в соответствии с критерием 2, демонстрирует лучшие результаты работы (коэффициент усиления $k_y=1,4\dots 1,9$, давление начала работы $P_H=0,5\dots 2,5$ МПа), относительно муфты, установленной по критерию 1 ($k_y=1,3\dots 1,8$, $P_H=1\dots 3$ МПа) и муфты, установленной произвольно ($k_y=0,3\dots 1,5$, $P_H=2\dots 5,5$ МПа).

4) Разработан алгоритм реализации метода ремонта нефтегазопровода, позволяющий обеспечить минимальные напряжения в области дефекта трубы после ремонта при имеющейся геометрии трубы в дефектном сечении и полумуфт.

Положения, выносимые на защиту.

1. Реализация разработанного алгоритма осуществления технологии капитального ремонта участка магистрального нефтегазопровода введением в него дополнительных диагностических процедур, связанных с измерением геометрии труб и муфт, уровня напряжений, оценкой механических свойств металла, повышает надежность ремонта и позволяет снизить напряжения в дефектном участке труб до требуемого уровня.

2. Применение в технологии ремонта магистрального нефтегазопровода полумуфт с измеренной геометрией внутренней поверхности при известном угловом положении дефекта и контроле отклонения от цилиндричности ремонтируемого участка трубы позволяет оптимизировать положение муфты и ее установку с минимальным суммарным зазором, обеспечив при этом коэффициент усиления в диапазоне значений от 1,4 до 1,9, снижая время восстановления работоспособности до 30%.

Методология и методы исследования. Поставленные задачи решены с использованием методов сравнения и эксперимента, при этом при проведении экспериментальной части исследования применялись абстрагирование, обобщение и идеализация. При проведении исследований применялись механические испытания специальных образцов металла труб, натурные исследования фактической геометрии труб большого диаметра, тензометрия, статистические методы обработки экспериментальных данных.

Степень достоверности и апробация результатов.

Достоверность результатов подтверждается верификацией теоретических научных результатов с результатами физического эксперимента, выполненного на модельных образцах и с результатами теоретических, стендовых и промышленных испытаний, выполненных другими авторами, а также результатами внедрения разработанной технологии при ремонте труб конденсатопровода «Вуктыл – Сосногорский газоперерабатывающий завод».

Основные положения диссертационной работы докладывались и обсуждались на IX международной учебно-научно-практической конференции «Трубопроводный транспорт–2013», УГНТУ (г. Уфа, 2013 г.); XV Международной молодежной научной конференции «Севергеоэкотех-2014», УГТУ (г. Ухта, 26-28 марта 2014 г.); Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых учёных (с международным участием) «Проблемы функционирования систем транспорта», ТюмГНГУ (г. Тюмень, 5 -7 ноября 2014 г.); VIII международной научно-технической конференции «Надежность и безопасность магистрального трубопроводного транспорта», ПГУ (Беларусь, г. Новополоцк, 25 – 26 ноября 2014 г.); Межрегиональных вебинарах «Актуальные проблемы нефтегазотранспортной отрасли», УГТУ (г. Ухта – г. Н.Новгород, 2014-2016 гг.); Международном семинаре «Рассохинские чтения», УГТУ (г. Ухта, 6-7 февраля 2014 г.; 5-6 февраля 2015 г., 2-3 февраля 2017 г.); Международной конференции «Трубопроводный транспорт: теория и практика – 2017», АО «ВНИИСТ» (г.Москва, 7-8 февраля, 2017 г.)

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

Доказана возможность эффективного применения стальных обжимных муфт для ремонта большинства дефектов трубопроводов, образованных в процессе эксплуатации.

Раскрыты основные уравнения, необходимые для определения величины зазора между наружной поверхностью трубы и внутренней поверхностью муфты в точках с разными угловыми координатами при заданном угловом положении муфты относительно трубы.

Изучено влияние геометрических несовершенств трубы и муфты на коэффициент усиления стальной обжимной муфты, установленной с различным угловым положением относительно трубы.

Проведена модернизация алгоритма осуществления технологии капитального ремонта участка магистрального трубопровода с применением стальных муфт, позволяющая увеличить эффективность ремонта за счет повышения коэффициента усиления муфты в области дефекта

Практическая значимость работы определяется тем, что:

Разработан и введен в действие нормативно-технический документ «Регламент ремонта дефектов нефтегазопроводов стальными обжимными муфтами» (Стандарт ООО «ГазЭнергоСервис», введен 09.01.2017 г.).

Разработана новая конструкция муфты для ремонта трубопроводов, позволяющая обеспечить требуемый коэффициент усиления муфты (патент РФ на полезную модель 158170, опубл. 20.12.2015 г.).

Определены дополнительные диагностические методы исследования дефектной зоны трубы, позволяющие повысить эффективность ремонта.

Создано программное обеспечение «PCPSearcher» для выбора полумуфт из числа имеющихся для ремонта, а также определения их положения на ремонтируемом участке с целью достижения максимального возможного коэффициента усиления муфты в месте дефекта.

Создан новый прибор для контроля кривизны поверхности (патент РФ на полезную модель 153456, опубл. 20.07.2015 г.).

Представлены результаты внедрения разработанной методики при ремонте 99 дефектов, обнаруженных на магистральном конденсатопроводе «Вуктыл – Сосногорский газоперерабатывающий завод» 2 нитка, км 0-174.

Сведения о публикациях автора: по теме диссертации опубликовано 14 печатных работ, из них 6- в ведущих рецензируемых изданиях, включенных в перечень ВАК РФ, получены 2 патента РФ на полезную модель, подана заявка на изобретение РФ «Способ ремонта трубопровода», разработано программное обеспечение «PCPSearcher» для выбора полумуфт из числа имеющихся для ремонта.

Структура и объем работы: диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, содержит 185 страниц текста без приложений, 87 рисунков, 19 таблиц, список литературы из 179 наименований и 10 приложений.

Личный вклад автора заключается в постановке цели и задач исследования, изучении отечественных и зарубежных достижений в соответствующей области науки, проведении теоретических и экспериментальных исследований, анализе полученных результатов, их апробации, подготовке публикаций по выполненной работе, оформлении патентных заявок, участии в разработке стандарта ООО «ГазЭнергоСервис».

Содержание работы

Во введении охарактеризовано состояние вопроса в мировой практике по выбранной теме исследований, освещены проблемы развития методов ремонта трубопроводов, обозначены направление и актуальность исследований.

В первой главе «Аналитический обзор технологий ремонта магистральных нефтегазопроводов с применением муфт» выполнен критический анализ патентно-информационных источников, который позволил систематизировать существующее многообразие конструкций и методов монтажа муфт. Показано, что стальные обжимные муфты являются наиболее недорогим, технологичным и надежным видом локального ремонта большинства дефектов, возникающих в процессе эксплуатации подземных нефтегазопроводов. К достоинствам таких муфт следует отнести отсут-

ствие необходимости применения сложных материалов и составов. Однако работоспособность таких муфт зависит от плотности ее прилегания к трубопроводу, что необходимо учитывать при выборе этого способа ремонта.

Анализ национальных и ведомственных нормативных документов (ПАО «Газпром»), ТУ заводов-изготовителей, регламентирующих требования к геометрии труб, позволил заключить, что требования предъявляются к трем параметрам труб: *вмятины, овальность, отклонение диаметра*. Установлено, что для корпуса трубы (исключая концы труб) требования допускают отклонения по наружному диаметру порядка ± 10 мм для трубы 1420 мм и овальность до 1,5-2,0 %. При установке муфт с такими зазорами муфта не работает, кроме этого возникает задача подгонки муфт по диаметру труб. Для определения возможности применения стальных обжимных муфт на практике, актуальной является задача проведения исследования фактической геометрии труб большого диаметра.

Анализ работ А.М. Шарыгина, В.М. Шарыгина, И.И. Велиюлина, А.С. Попкова показал, что существует ряд выражений для расчета коэффициента усиления ремонтной муфты, однако часть из них не адекватно работает при наличии зазоров в паре «муфта-труба». Кроме этого, коэффициент усиления муфты может быть рассчитан только для определенной точки и определенного нагружения в трубопроводе. Зазор между муфтой и трубой существенно снижает коэффициент усиления, вплоть до полной неработоспособности обжимной муфты.

Для проведения оценки локальной кривизны муфт и труб необходимы устройства – кривизномеры, однако при проведении большого числа измерений, особенно на наружных боковых и нижней поверхностях трубы, точность и производительность труда будет невысокой. Кроме того, для проведения контроля требуется заранее нанесенная разметка на объекте контроля, что предопределяет целесообразность разработки нового типа устройства для измерения кривизны труб и внутренней поверхности муфт с минимальными трудозатратами.

При ремонте нефтегазопроводов муфтами необходимо учитывать не только размеры дефекта, но и околодефектную область с измененными функциональными свойствами. Анализ методов неразрушающего контроля поврежденности металла показал, что для решения этой задачи может быть использован метод многократного тестирования твердости при нагрузке на инденторе 5-15Н. Кроме этого, стальная обжимная муфта эффективно работает при наименьшем давлении ее установки и при несущественных изгибных и касательных напряжениях (менее 20% от предела прочности). Предложено проводить оценку напряженного состояния методом измерения и анализа коэрцитивной силы металла трубы.

Во второй главе «Исследование геометрических несовершенств труб большого диаметра и ремонтных стальных муфт» выполнен анализ овальности и локальных радиусов труб большого диаметра и элементов муфт для их ремонта, т.к. на величину зазора между муфтой и трубой влияет геометрия как самой трубы, так и муфты.

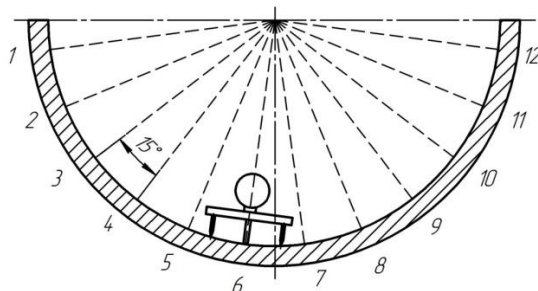
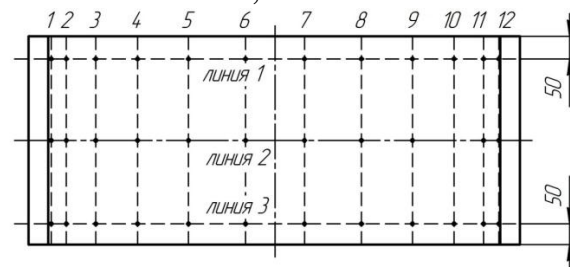
В ходе исследования определялись: 1. внутренний диаметр труб, измеренный в различных сечениях и окружных точках труб (рисунок 1, а); 2. толщина стенки трубы с целью дальнейшего пересчета внутреннего диаметра во внешний диаметр; 3. кривизна наружной поверхности трубы в различных сечениях и различных окружных точках; 4. кривизна внутренней поверхности полумуфт в контрольных точках (рисунок 1, б); 5. значения внутренних диаметров и кривизны внешней и внутренней

поверхностей в контрольных точках при повороте трубы относительно своей оси на 90° , 180° и 270° с целью анализа методической погрешности, вызванной искривлением трубы под собственным весом.

Объект обследования - трубы, вырезанные из магистрального газопровода, диаметром 1420 мм – 28 шт.; 1220 мм – 23 шт.; 820 мм – 16 шт.; 720 мм – 18 шт.



а)



б)

Рисунок 1 – Измерение внутреннего диаметра трубы нутромером НМ50-1300 а), схема разметки полумуфт б)

Известные устройства для измерения кривизны крупногабаритных деталей обладают существенными недостатками при выполнении большого объема работ по измерению кривизны. Поэтому в работе разработано и изготовлено техническое устройство измерения радиуса кривизны цилиндрической поверхности крупногабаритных деталей (рисунок 2).

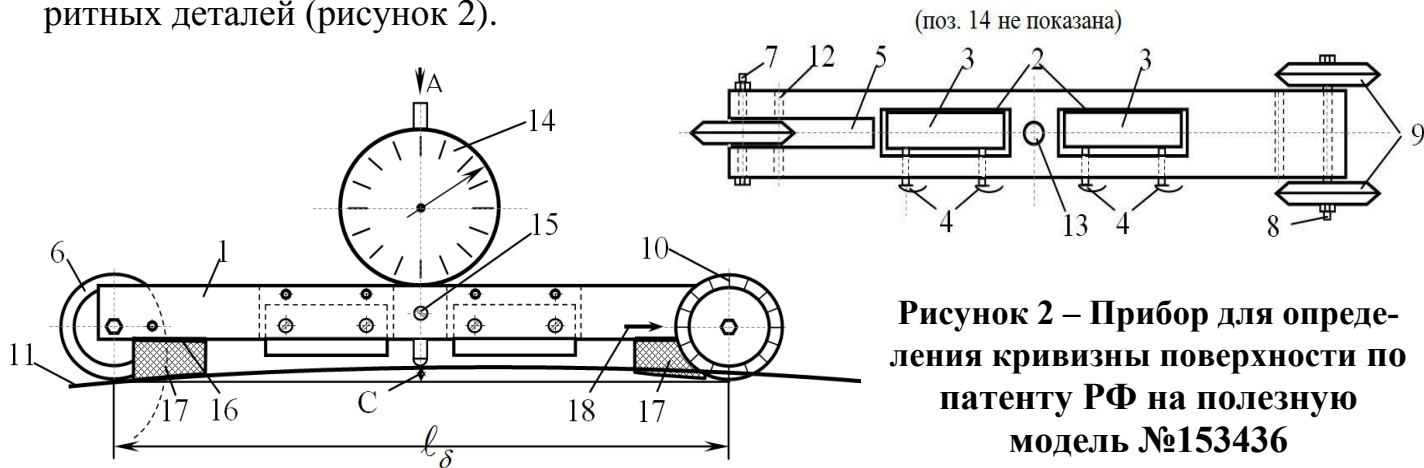


Рисунок 2 – Прибор для определения кривизны поверхности по патенту РФ на полезную модель №153436

Устройство состоит из корпуса 1 в виде стержня прямоугольного поперечного сечения с прямоугольными отверстиями 2, в которых размещены постоянные магниты 3, зафиксированные стопорными винтами 4. На одном из концов корпуса выполнена прорезь 5, в которой расположен один опорный ролик 6, установленный на ось 7, на противоположном конце корпуса по его бокам на оси 8 установлены два опорных ролика 9, на внешних боковых поверхностях каждого из которых нанесена по кругу шкала с делениями 10 для определения расстояния, пройденного устройством по поверхности крупногабаритной детали 11. В корпусе 1 выполнены дополнительные отверстия 12 для установки роликов с измененным базовым расстоянием. На середине базового расстоя-

ния выполнено круглое отверстие 13 для установки измерительного преобразователя 14 с фиксированием его стопорным винтом 15. На концах корпуса установлены на клеевой состав 16 упругие фрикционные элементы 17. На боковой поверхности корпуса для отсчета расстояния нанесена стрелка-указатель 18.

Требуемая точность измерений показателя кривизны обеспечивается применением индикаторов часового типа с ценой деления 0,01 мм по ГОСТ 577-68.

Расчет текущего значения радиуса кривизны поверхности ρ вычисляют по формуле:

$$\rho = l^2 / 8C + 0,5C \quad (1)$$

где $C = A - A_0$ – разность показаний измерительного преобразователя (ИП), мм. В качестве ИП применяется индикатор часового типа; A, A_0 – показания ИП на трубе в точке измерения и на горизонтальной поверхности, мм.

Результаты исследования показали, что максимальное значение отклонения внутреннего диаметра обследованных труб от номинального значения составляет – 1,07 %, максимальное значение отклонения радиуса кривизны от номинального значения – 8 %, что является допустимым по требованиям ГОСТ Р 52079 -2003, ГОСТ 31447 - 2012, но критичным при ремонте стальными обжимными муфтами.

В третьей главе «Расчетно-экспериментальная оценка влияния геометрических несовершенств сопрягаемых поверхностей «муфта-труба» на эффективность ремонта» получены уравнения для определения величины зазора между наружной поверхностью трубы и внутренней поверхностью муфты в точках с разными угловыми координатами при заданном угловом положении муфты относительно трубы и приведены результаты экспериментальной оценки эффективности

муфт, установленных с различными зазорами на модели трубопровода.

Форма поперечного сечения наружной поверхности трубопровода представляет собой замкнутую плоскую кривую (рисунок 3). В общем случае из-за наличия геометрических несовершенств эта кривая отличается от окружности. Кривизна k плоской кривой (величина, обратная радиусу кривизны ρ) связана с изменением угла наклона касательной к кривой da и длиной соответствующей дуги кривой ds следующим соотношением:

$$k = \frac{1}{\rho} = \frac{da}{ds} \quad (2)$$

Пусть известна зависимость кривизны от длины дуги кривой $k(s)$. В этом случае величина α в точке кривой, которая характеризуется длиной дуги s , может быть определена следующим образом:

$$\alpha(s) = \int_0^s k(s') ds' + \alpha_0 \quad (3)$$

Здесь s' – переменная, по которой производится интегрирование, α_0 – угол наклона касательной к кривой в начальной точке кривой (при $s = 0$). Зная угол наклона касательной к кривой $\alpha(s)$, можно определить величины изменения декарто-

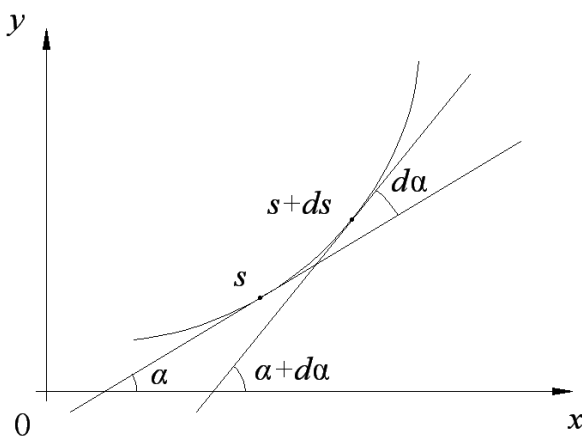


Рисунок 3 – Определение кривизны плоской кривой

вых координат dx и dy , соответствующие перемещению точки наблюдения от начала до конца элемента кривой ds :

$$dx = \cos(\alpha(s))ds, \quad dy = \sin(\alpha(s))ds \quad (4, 5)$$

Декартовы координаты x и y точки кривой, которая характеризуется длиной дуги s , определяются следующими соотношениями:

$$x(s) = \int_0^s \cos(\alpha(s'))ds' + x_0, \quad y(s) = \int_0^s \sin(\alpha(s'))ds' + y_0. \quad (6, 7)$$

Здесь x_0 и y_0 – декартовы координаты начальной точки кривой (при $s = 0$).

Таким образом, при известной зависимости $k(s)$ могут быть определены декартовы координаты любой точки, принадлежащей рассматриваемой кривой.

Пусть известны значения кривизны рассматриваемой кривой k_i в точках, характеризующихся длиной дуги s_i (i – номер точки, $i = 0, 1, \dots, n - 1$, n – общее количество точек). Будем считать, что расстояния вдоль кривой между рассматриваемыми точками одинаковы и равны Δs . В этом случае длина дуги для i -ой точки определяется следующим образом:

$$s_i = i\Delta s. \quad (8)$$

Если известны значения радиусов кривизны ρ_i и, соответственно k_i , то с использованием введенных обозначений можно записать конечно-разностный аналог уравнения (2):

$$\Delta\alpha_i \approx k_i\Delta s. \quad (9)$$

Здесь $\Delta\alpha_i$ – изменение угла наклона касательной к рассматриваемой кривой при переходе из точки с индексом i в точку с индексом $i + 1$.

Угол наклона касательной к рассматриваемой кривой в i -ой точке α_i определяется путем суммирования угла наклона касательной в начальной точке α_0 и изменений угла наклона касательной, соответствующих всем точкам с индексами от 0 до $i - 1$:

$$\alpha_i \approx \sum_{j=0}^{i-1} k_j\Delta s + \alpha_0. \quad (10)$$

Конечно-разностные аналоги уравнений (4) и (5) могут быть записаны в следующем виде:

$$\Delta x_i \approx \cos(\alpha_i)\Delta s, \quad \Delta y_i \approx \sin(\alpha_i)\Delta s \quad (11, 12)$$

Здесь Δx_i и Δy_i – изменение декартовых координат при переходе из точки с индексом i в точку с индексом $i + 1$.

Декартовы координаты i -ой точки кривой x_i и y_i определяются путем суммирования координат начальной точки x_0 и y_0 и изменений координат, соответствующих всем точкам с индексами от 0 до $i - 1$:

$$x_i \approx \sum_{j=0}^{i-1} \cos(\alpha_j)\Delta s + x_0, \quad y_i \approx \sum_{j=0}^{i-1} \sin(\alpha_j)\Delta s + y_0. \quad (13)$$

Таким образом, при известных значениях кривизны в ряде точек рассматриваемой кривой могут быть приближенно определены декартовы координаты этих точек, то есть приближенно определена форма рассматриваемой кривой.

Для определения координат точек кривой, лежащих между двумя точками с известными координатами, может быть использовано предположение о линейной зависимости расстояния от точки кривой до условного центра окружности от угловой координаты относительно условного центра окружности. Пусть известны координаты двух точек кривой (x_1, y_1) и (x_2, y_2) в системе координат, начало которой совпадает с условным центром окружности. Требуется найти координаты (x, y) точки, которая лежит на дуге кривой между точками (x_1, y_1) и (x_2, y_2) и характеризуется расстоянием r от условного центра окружности и угловой координатой β (рисунок 4). Расстояния

r_1 и r_2 от условного центра окружности до точек (x_1, y_1) и (x_2, y_2) определяются следующими соотношениями:

$$r_1 = \sqrt{x_1^2 + y_1^2}, r_2 = \sqrt{x_2^2 + y_2^2} \quad (14)$$

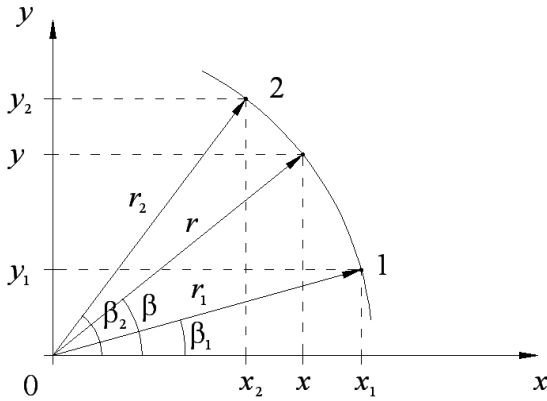


Рисунок 4 – К задаче определения координат точек кривой, лежащих между двумя точками с известными координатами

Угловые координаты β_1 и β_2 точек (x_1, y_1) и (x_2, y_2) связаны с координатами точек следующим образом:

$$\operatorname{tg}\beta_1 = \frac{y_1}{x_1}, \quad \operatorname{tg}\beta_2 = \frac{y_2}{x_2} \quad (15)$$

На основании используемого предположения о линейной зависимости $r(\beta)$ для точек, лежащих на дуге кривой между точками (x_1, y_1) и (x_2, y_2) , может быть записано следующее соотношение:

$$r = a\beta + b. \quad (16)$$

Координаты (x, y) рассматриваемой точки определяются следующими соотношениями:

$$x = r \cos \beta = \left(\frac{r_1 - r_2}{\beta_1 - \beta_2} \beta + \frac{r_2 \beta_1 - r_1 \beta_2}{\beta_1 - \beta_2} \right) \cos \beta, \quad y = r \sin \beta = \left(\frac{r_1 - r_2}{\beta_1 - \beta_2} \beta + \frac{r_2 \beta_1 - r_1 \beta_2}{\beta_1 - \beta_2} \right) \sin \beta \quad (17, 18)$$

Таким образом, уравнения (17) и (18) могут применяться для определения координат точек поперечного сечения наружной поверхности трубы или внутренней поверхности муфты, расположенных между точками измерения радиусов кривизны.

Для вычисления величины зазора между трубой и муфтой рассмотрим систему координат, начало которой совпадает с условным центром поперечного сечения наружной поверхности трубы. Пусть x_{mi}, y_{mi} ($i = 0, 1, \dots, n - 1$) – координаты точек поперечного сечения наружной поверхности трубы, x_{mi}, y_{mi} ($i = 0, 1, \dots, n - 1, n - \text{четное число}$) – координаты точек поперечного сечения внутренней поверхности муфты, причем точки x_{mi}, y_{mi} при $i = 0, 1, \dots, n/2 - 1$ относятся к первой полумуфте, а точки x_{mi}, y_{mi} при $i = n/2, n/2 + 1, \dots, n - 1$ относятся ко второй полумуфте. Угловое положение муфты относительно трубы будем характеризовать индексом m точки трубы, соответствующей точке муфты с индексом 0. При этом предполагается, что точки на наружной поверхности трубы с индексами $m + i$ соответствуют точкам на внутренней поверхности муфты с индексами i (рисунок 5).

Найдем величину зазора между несовершенной наружной поверхностью трубы и несовершенной внутренней поверхностью полумуфты, возникающего при установке полумуфты на трубу при заданном угловом положении полумуфты относительно трубы. Для определения зазора в первую очередь необходимо найти точки соприкосновения поперечных сечений наружной поверхности трубы и внутренней поверхности полумуфты.

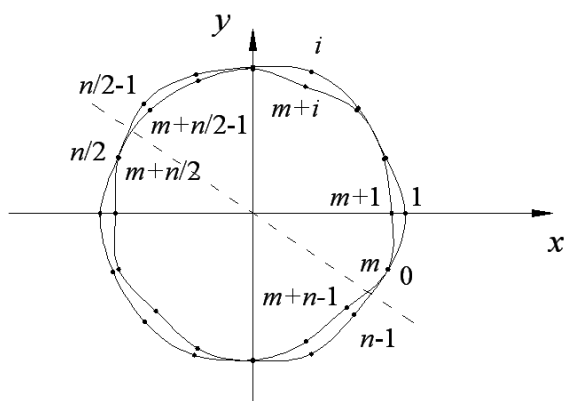


Рисунок 5 – Взаимное соответствие точек поперечного сечения наружной поверхности трубы и внутренней поверхности муфты. Штриховая линия характеризует угловое положение краев полумуфт

Пусть первая точка соприкосновения трубы и полумуфты имеет индекс p . Произведем преобразование координат точек полумуфты:

$$x'_{mi} = x_{mi} + (x_{mm+p} - x_{mp}), \quad y'_{mi} = y_{mi} + (y_{mm+p} - y_{mp}). \quad (19)$$

Это преобразование соответствует переносу кривой, характеризующей поперечное сечение внутренней поверхности полумуфты, в первую точку соприкосновения. Расстояние Δr_i между трубой и полумуфтой в радиальном направлении в районе i -й точки полумуфты может быть определено как разность расстояний r_{mi} и r_{mm+i} :

$$\Delta r_i = r_{mi} - r_{mm+i} \quad (20)$$

где $r_{mi} = \sqrt{x_{mi}^2 + y_{mi}^2}$ - расстояние r_{mi} от начала координат до i -й точки полумуфты; $r_{mm+i} = \sqrt{x_{mm+i}^2 + y_{mm+i}^2}$ - расстояние r_{mm+i} от начала координат до точки трубы с индексом $m+i$ (эта точка соответствует i -й точке полумуфты).

Найдем угол φ_{ip} , необходимый для совмещения полумуфты с трубой в районе i -ой точки полумуфты путем поворота полумуфты вокруг оси, проходящей через первую точку соприкосновения и перпендикулярной к плоскости чертежа (рисунок 6). При повороте вокруг указанной оси i -я точка полумуфты перемещается по дуге окружности радиуса ρ_{ip} , равного расстоянию между точками полумуфты с индексами i и p :

$$\rho_{ip} = \sqrt{(x'_{mi} - x'_{mp})^2 + (y'_{mi} - y'_{mp})^2}. \quad (21)$$

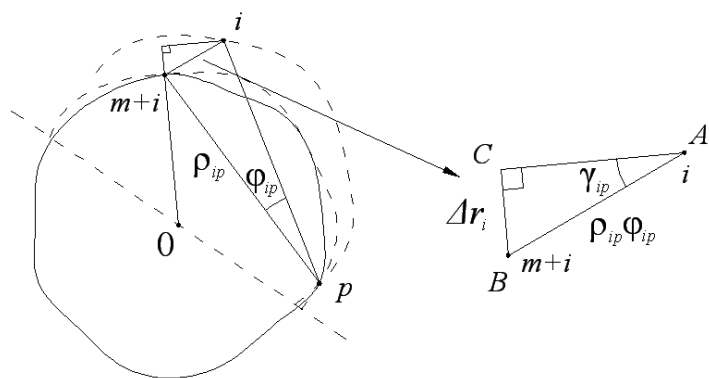


Рисунок 6 – К определению взаимосвязи между расстоянием между полумуфтой и трубой в районе точки с индексом i и углом поворота полумуфты относительно оси, проходящей через точку с индексом p

Если прямая проходит через две заданные точки (x_1, y_1) и (x_2, y_2) , то коэффициент перед x в уравнении этой прямой $y = cx + d$ определяется соотношением:

$$c = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}. \quad (22)$$

В нашем случае коэффициент c_1 для прямой, проходящей через точки $(0, 0)$ и (x_{mm+i}, y_{mm+i}) определяется следующим образом:

$$c_1 = \frac{y_{mm+i}}{x_{mm+i}}. \quad (23)$$

Коэффициент c_2 для прямой, проходящей через точки (x'_{mp}, y'_{mp}) и (x'_{mi}, y'_{mi}) определяется следующим образом:

$$c_2 = \frac{y'_{mi} - y'_{mp}}{x'_{mi} - x'_{mp}}. \quad (24)$$

С учетом данных соотношений легко получить уравнение для определения угла φ_{ip} :

$$\varphi_{ip} = \frac{\Delta r_i}{\rho_{ip}} \frac{\sqrt{1+c_1^2} \sqrt{1+c_2^2}}{c_2 - c_1}. \quad (25)$$

Проведя описанную выше процедуру поиска точек соприкосновения для всех возможных вариантов индексов первой точки соприкосновения, т.е. для $p = 0, 1, \dots, n/2 - 1$, составим список возможных вариантов положения полумуфты относительно трубы, которые характеризуются индексами p и q точек соприкосновения. Для каждого из полученных вариантов рассчитаем суммарную величину радиального зазора между полумуфтой и трубой во всех рассматриваемых точках.

Величина радиального зазора Δr_{ipq} в районе i -й точки полумуфты при заданных p и q определяется следующим образом:

$$\Delta r_{ipq} = r_{mi} - r_{mm+i} - \rho_{ip} \varphi_{qp} \frac{c_2 - c_1}{\sqrt{1+c_1^2} \sqrt{1+c_2^2}}. \quad (26)$$

Суммарная величина радиального зазора между полумуфтой и трубой во всех рассматриваемых точках Δr_c определяется путем суммирования значений Δr_{ipq} при $i = 0, 1, \dots, n/2 - 1$ (очевидно, что при $i = p$ и $i = q$ $\Delta r_{ipq} = 0$):

$$\Delta r_c = \sum_{i=0}^{n/2-1} \Delta r_{ipq}. \quad (27)$$

Сравнивая значения Δr_c , определим вариант с наименьшим суммарным зазором и соответствующие этому варианту значения p и q .

Таким образом, на основании результатов измерения радиусов кривизны в ряде точек на наружной поверхности трубопровода и внутренней поверхности муфты может быть определена форма поперечных сечений указанных поверхностей. Получены соотношения для определения координат точек, в которых проводились измерения радиусов кривизны.

Также разработан оригинальный способ поиска точек соприкосновения поперечных сечений несовершенной наружной поверхности трубы и несовершенной внутренней поверхности полумуфты. Получены уравнения для определения величин

ны зазора между наружной поверхностью трубы и внутренней поверхностью муфты в точках с разными угловыми координатами при заданном угловом положении муфты относительно трубы.

Предложена последовательность действий, необходимых для оптимизации углового положения муфты с учетом несовершенства формы сопрягаемых поверхностей трубы и муфты, а также с учетом углового положения дефекта. Указанная последовательность действий основана на сравнении величин зазоров между муфтой и трубой при разных угловых положениях муфты относительно трубы.

При идеальной схеме работы на участке трубы с установленной муфтой при отсутствии зазора между ними получается максимальный силовой эффект по защите дефекта стенки трубы, определяемый по формуле

$$k_{yc} = \frac{\delta_m + \delta_m}{\delta_m}, \quad (28)$$

где δ_t – толщина стенки трубы, м; δ_m – толщина стенки муфты, м.

Неизбежные геометрические несовершенства при производстве труб и сварных муфт существенным образом снижают значение коэффициента k_{yc} , т.е. муфта либо поздно подключается к работе, либо совсем не работает.

Предлагается новая формула для определения коэффициента усиления муфты, которая учитывает наличие возможных зазоров между сопрягаемыми поверхностями муфты и трубы:

$$K_{yc} = \frac{(\delta_m + \delta_m)w_{факт}}{\delta_m w_{расч}}, \quad (29)$$

где $w_{факт}$ – фактическое (измеренное) радиальное перемещение наружной поверхности муфты, мм; $w_{расч}$ – расчетное значение радиального перемещения наружной поверхности муфты.

Далее в работе выполнялось физическое моделирование с целью определения фактического коэффициента усиления стальных обжимных муфт, установленных различными способами, а именно:

- с выбором оптимального положения, на трубопроводе, путем вращения полумуфт вокруг оси трубопровода.
- с произвольным положением полумуфт.

В качестве объекта исследования выбрана физическая модель трубопровода. Длина модели 600 мм, сечение рабочей части трубы $D_n \times \delta = 150 \times 1,7$ мм (D_n – наружный диаметр, δ – толщина стенки). Модель трубопровода выполнена из трубы бесшовной холоднодеформированной по ГОСТ 8734-75 (СТ СЭВ 1483-78) наружным диаметром 160 мм и толщиной стенки 6,7 мм. Центральная (рабочая) часть модели протяженностью 500 мм обтачивалась на токарном станке до достижения толщины стенки 1,7 мм (рис. 7). Затем труба деформировалась для придания ей отклонений от цилиндрической формы, соответствующих фактическим трубам. Муфты выполнены

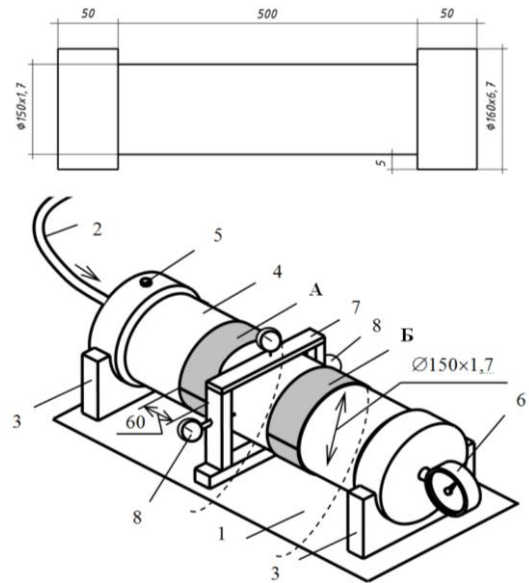
из аналогичной трубы, утоненной до толщины $\delta_m = 1,9$ мм, ширина муфты $\ell_m = 60$ мм.

К модели трубопровода приваривались торцевые заглушки. Модель размещается на ложементах, установленных на опорной раме, и соединяется с нагнетательной линией гидропресса (рис. 7, б).

1 – опора; 2 – нагнетательная линия; 3 – ложемент; 4 – труба; 5 – пробка; 6 – манометр; 7 – рамка; 8 индикатор часового типа

Рисунок 7 – Трубный образец

а) и установка б) для испытания сварных обжимных муфт: А – муфта установленная произвольно; Б – муфта установленная с выбором оптимального положения



Перемещение стенки модели трубы и муфты под воздействием внутренней среды определяли при помощи индикаторов часового типа, закрепленных в измерительной рамке, перемещаемой вдоль модели.

Для исследований было изготовлено 12 полумуфт, которые устанавливались на модель трубопровода с реализацией одного следующих вариантов:

- минимизация суммарного отклонения локальных радиусов муфты и трубы (критерий 1);
- минимизация суммарных зазоров между трубой и муфтой (критерий 2);
- произвольно.

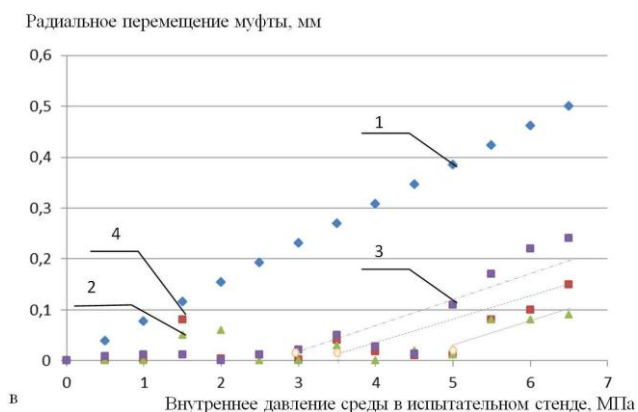
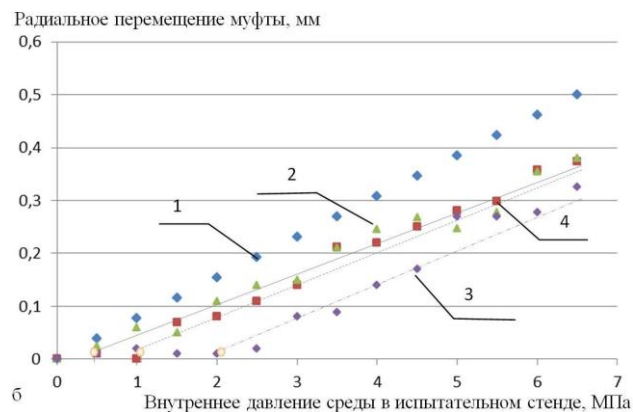
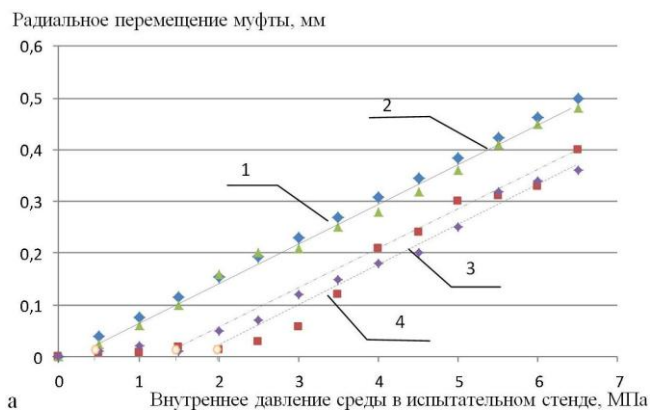
Расчетное значение радиального перемещения оболочек рассчитывали по формуле, выведенной из классических законов механики деформации цилиндрических оболочек:

$$w = -\frac{(1-\nu^2)}{E} \frac{P_0 R_0^2}{h}. \quad (30)$$

При исходных данных, соответствующих геометрическим и механическим характеристикам модели, получим значение радиального перемещения трубы, усиленной муфтой $w=0,515$ мм при давлении 6,5 МПа.

На рис. 8 представлены графики для муфты №1, установленной с оптимизацией положения (рис. 8, а и б), а также произвольно (рис. 8, в).

Для обоснованной оценки эффективности выполним расчет среднего квадратичного отклонения показаний перемещений муфты относительно расчетных эталонных значений. Обобщенные результаты испытаний расчетов представлены в табл. 1 и на рис. 9, 10.



1 – расчетная идеализированная зависимость; 2,3,4 – измеренные значения радиального перемещения муфты, соответственно, на 12, 3 и 9 час в почасовой ориентации модели; \diamond - точка излома графика

Рисунок 8 – Зависимость радиального перемещения наружной поверхности (w) муфты №1 от внутреннего давления (P) в модели: а – муфта ориентирована в соответствии с критерием 2; б – в соответствии с критерием 1; в – ориентирована произвольно

Таблица 1 – Результаты испытаний образцов муфт

Номер муфты	при установке муфты по критерию 1		при установке муфты по критерию 2		СКО σ при установке муфты произвольно	
	СКО σ , мм	Среднее давление начала работы муфты, МПа	СКО σ , мм	Среднее давление начала работы муфты, МПа	СКО σ , мм	Среднее давление начала работы муфты, МПа
1	0,109	1,45	0,080	1,24	0,239	3,9
2	0,118	1,64	0,102	1,12	0,201	3,45
3	0,102	1,25	0,074	1,07	0,378	4,84
4	0,098	1,17	0,081	1,15	0,154	1,97
5	0,145	1,87	0,094	1,2	0,289	4,57
6	0,113	1,24	0,079	0,94	0,174	1,43

Таким образом, на основании приведенных результатов экспериментального исследования обнаружена точка излома графика «коэффициент усиления – давление в трубе», соответствующая началу работы муфты (страгивание радиального перемещения муфты) и свидетельствующая о закрывании зазора. При этом, чем меньше начальный зазор муфты, тем раньше муфта включается в работу и наоборот.

Результаты испытаний показали, что муфта, установленная в соответствии с критерием 2, демонстрирует лучшие результаты работы ($k_y=1,4\dots 1,9$, $P_n=0,5\dots 2,5$ МПа), относительно муфты, установленной по критерию 1 ($k_y=1,3\dots 1,8$, $P_n=1\dots 3$ МПа) и намного лучшие результаты, относительно муфты, установленной произвольно ($k_y=0,3\dots 1,5$, $P_n=2\dots 5,5$ МПа). Муфта работает неодинаково по своей окружности: имеет место разброс значений коэффициента усиления, следовательно, необходим подбор положения муфты относительно дефекта, с целью его расположения в зоне с максимальным коэффициентом усиления.

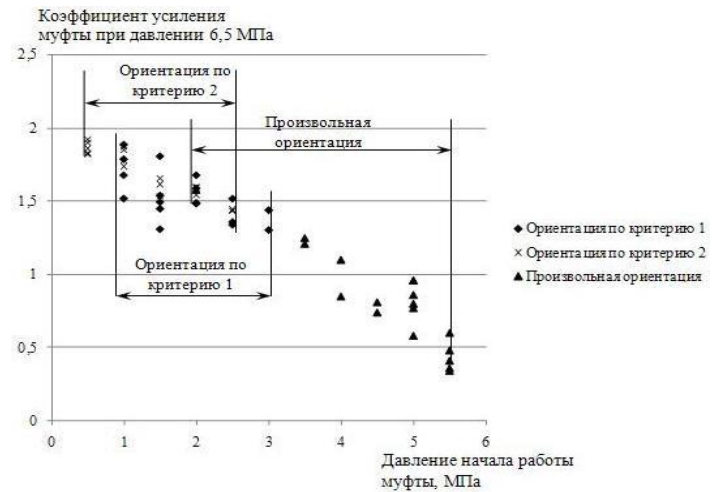
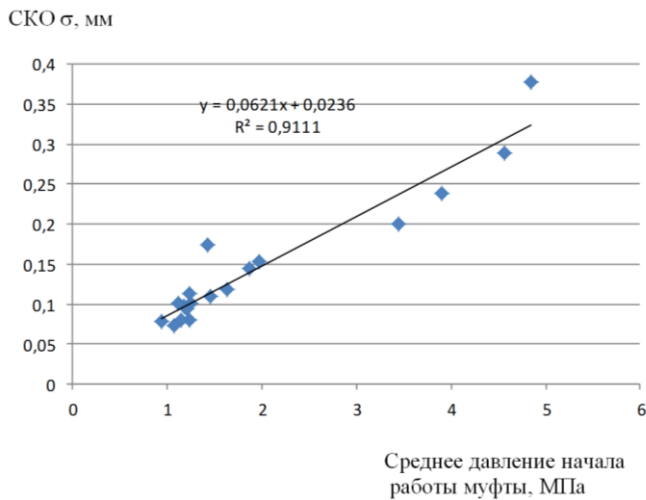


Рисунок 9 – График зависимости среднеквадратичного отклонения расчетных и фактических значений радиального смещения муфты от среднего давления начала работы муфты

Рисунок 10 – Экспериментальная зависимость коэффициента усиления муфты от давления начала работы муфты

В четвертой главе «Совершенствование методики ремонта трубопроводов сварными обжимными муфтами» усовершенствована последовательность ремонта трубопроводов муфтами, включающая:

1. Дефектоскопию обнаруженных дефектов стенок трубопроводов с установлением размеров дефектов.
2. Оценку изгибных и касательных напряжений в стенке трубопровода разрушающими методами контроля.
3. Оценку возможности и целесообразности ремонта трубопровода при помощи сварных муфт.
4. Исследование области металла вблизи дефекта с целью определения границ поверхности трубы с необратимо измененными физико-механическими свойствами.
5. Расчет разрушающего давления трубы с обнаруженным дефектом (дефектами).
6. Выбор подходящего экземпляра полумуфт из числа имеющихся в наличии и определение такого их положения, при котором обеспечивается недопущение критических напряжений в дефектной области, включающей область металла с измененными свойствами.

Зная величину радиального зазора в точке с заданной угловой координатой рассчитывают давление, необходимое для закрытия зазора $P_{\Delta r}$ по формуле:

$$P_{\Delta r} = \frac{4\Delta r \delta_m E}{D_n (D_n - 2\delta_m)(1 - \mu^2)} \quad (31)$$

При этом давление закрытия зазора должно быть много меньше давления разрушения трубы с имеющимся дефектом без учета работы муфты:

$$P_{\Delta r} \ll P_p, \quad (32)$$

где P_p – давление разрушения трубы с дефектом, МПа.

Расчет разрушающего давления для участка трубопровода, имеющего дефекты, проводится по известным методикам, в т.ч. с применением численных методов расчета (рис. 11).

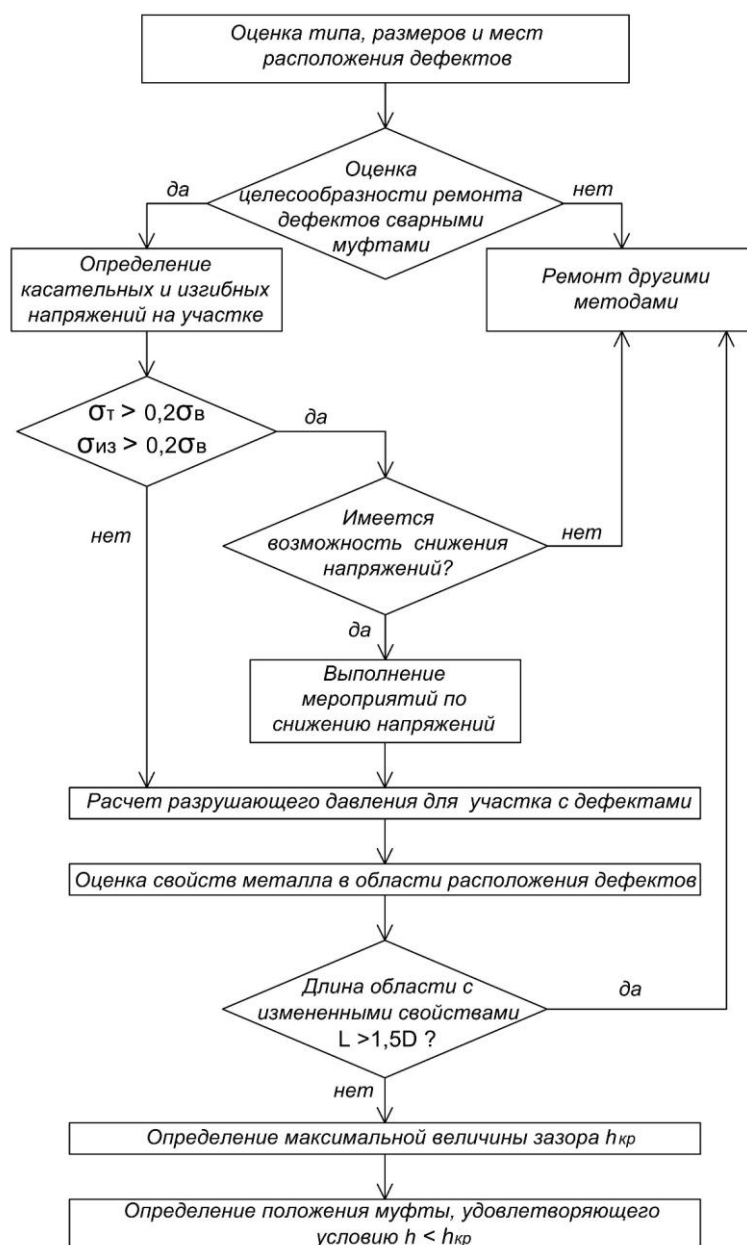


Рисунок 11 – Алгоритм реализации метода ремонта трубопровода с применением стальных обжимных муфт

В пятой главе «Результаты практического внедрения усовершенствованной технологии ремонта труб обжимными муфтами» представлено программное обеспечение (далее – ПО) для выбора и оптимального позиционирования полумуфт при ремонте дефектов, разработаны основные положения Стандарта организации ООО «ГазЭнергоСервис» «Регламент ремонта дефектов нефтегазопроводов стальными обжимными муфтами», описана новая конструкция муфты для ремонта трубопроводов, показаны результаты внедрения разработанной методики при ремонте конденсатопровода «Вуктыл-СГПЗ».

В качестве исходных данных при разработке ПК принято: 1. Муфта состоит из двух полумуфт; 2. Полумуфты могут быть соединены между собой в любом сочета-

нии, в т.ч. с поворотом полумуфты относительно направления движения продукта на 180° ; имеется некоторый «склад» полумуфт, из которого необходимо выбрать наилучшие полумуфты для ремонта конкретного дефекта (рис. 12).

Задачи, решаемые ПО:

1 Определение углового положения муфты, при котором обеспечивается наилучшее соответствие (по критерию 1 или 2) наружной поверхности трубопровода и внутренней поверхности муфты.

2 Определение углового положения муфты, при котором обеспечивается наилучшее соответствие наружной поверхности трубопровода и внутренней поверхности муфты в районе дефекта с заданным угловым положением.

3 Определение положения полумуфт (каждая из полумуфт может быть развернута на 180°), при котором обеспечивается наилучшее соответствие наружной поверхности трубопровода и внутренней поверхности муфты, в том числе в районе дефекта.

4 Выбор наиболее подходящих для данного участка трубопровода полумуфт из имеющихся в наличии.

Когда количество полумуфт склада уменьшается, минимальные расчётные зазоры в зоне дефекта трубопроводов могут увеличиться, что в конечном итоге не позволит выполнить ремонт с учетом условия (31). В этом случае целесообразным может оказаться применение конструкции муфты, разработанной автором (патент РФ № 158170). В разработанной конструкции муфты начальная жесткость снижена за счет несквозных продольных канавок, что позволяет обеспечить более плотное прилегание муфты к трубопроводу и минимизацию зазоров. В последующем продольные канавки завариваются после установки и сварки полумуфт.

Методика внедрена на участке конденсатопровода «Вуктыл-СГПЗ» II нитка, 0-174 км. Диаметр - 530 мм, введен в эксплуатацию в 1969 г. Максимальное разрешенное давление 50 кгс/см^2 . Трубопровод выполнен из одношовных труб из стали 17ГС. Требовалось выполнение ремонта 99 дефектов в 74 шурфах. В диссертации показан пример реализации методики на 6 дефектах. Подбор полумуфт выполнялся из 254 имеющихся в наличии на складе в г. Печора. Расчет оптимального положения муфты и подбор полумуфт проводим по критерию минимизации размера зазора в области дефекта с использованием ПО (рис. 12).

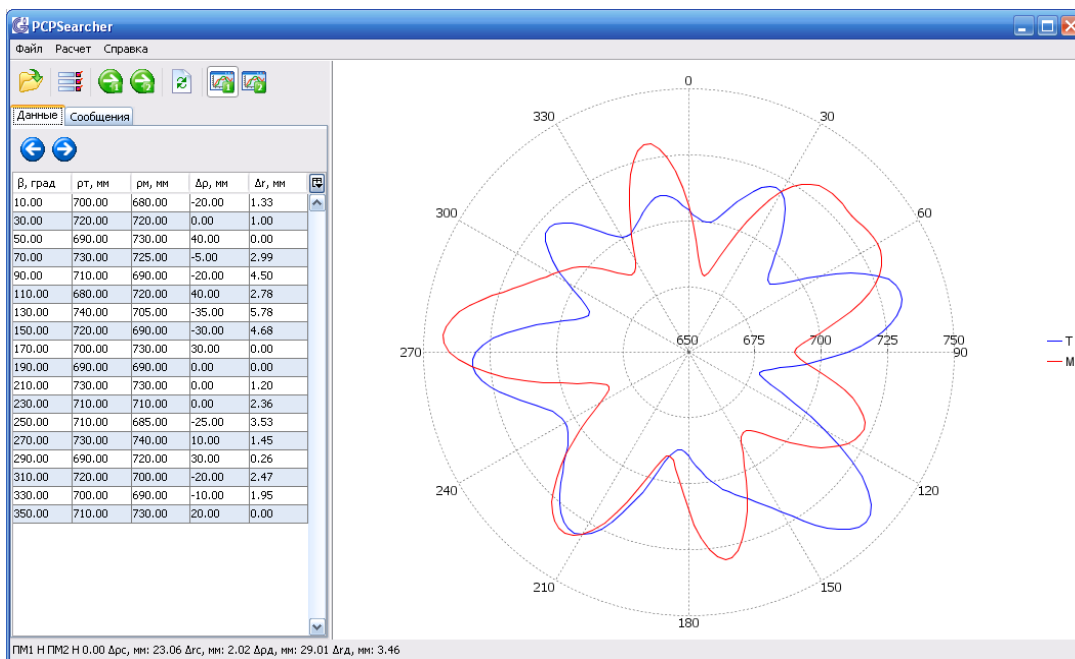


Рисунок 12 – Главное окно программного обеспечения для определения оптимального углового положения муфты в режиме отображения радиусов кривизны наружной поверхности трубопровода и внутренней поверхности муфты

Анализ результатов (табл. 2) показывает, что программе удалось подобрать полумуфты и их положение таким образом, что обеспечивается расчётный зазор в дефектной области порядка 0,01 - 0,04 мм. Такие зазоры соответствуют давлению его закрывания при данном типоразмере труб 0,3 – 1,1 МПа, что существенно ниже давления, при котором будет происходить разрушение трубы с таким дефектом. Соответственно, дефектная область трубы до момента закрывания зазора будет нагружена следующим образом: труба №11 – 12,9%; труба №30 – 21,6%; труба №88 – 13,6%; труба №89 – 6,6%; труба №90 – 12,9%; труба №91 – 13,4% от давления разрушения, что гарантирует высокую эффективность ремонта и дальнейшую безопасную эксплуатацию трубопровода.

Таблица 2 – Результаты подбора полумуфт для ремонта трубопровода

Номер дефектной трубы	Номера выбранных полумуфт	Положение выбранных полумуфт (Н – не развернуто, Р – развернуто)	Ориентация сварных швов полумуфт, град	Среднее расстояние между муфтой и трубой в области дефекта, мм	Расчетное давление закрывания зазора в области дефекта, МПа	Расчетное давление разрушения трубы с дефектами, МПа	Выполнение условия (формула 31)
11	27, 61	Н, Н	60	0,02	0,53	4,12	Выполняется
30	54, 118	Н, Н	180	0,04	1,06	4,9	Выполняется
88	36, 95	Р, Н	20	0,03	0,80	5,9	Выполняется
89	59, 125	Н, Р	160	0,01	0,27	4,1	Выполняется
90	19, 42	Н, Р	80	0,03	0,80	6,2	Выполняется
91	12, 63	Р, Н	180	0,02	0,53	3,95	Выполняется

Для определения фактического давления начала работы муфт, установленных на трубах 88,89,90,91, на муфту в месте дефекта устанавливалась система электротензоизмерений деформаций, включающая: мультиканальную тензометрическую станцию ZET 017-T8 и электротензорезисторы ТКФО1-2-200.

Установлено, что фактическое давление начала работы муфты (закрытия зазора) составило: для трубы №88 – 1,2 МПа; для трубы №89 – 0,7 МПа; для трубы №90 – 1,5 МПа; для трубы № 91 – 1,0 МПа. Полученные фактические значения превышают расчетную величину приблизительно на 0,5 МПа, но они кратно меньше давления разрушения труб с данными дефектами.

Основные выводы:

1. На основании разработанной методики проведено исследование геометрических несовершенств 85 труб, в том числе, труб диаметром 1420 мм – 28 шт.; труб диаметром 1220 мм – 23 шт.; труб диаметром 820 мм – 16 шт.; труб диаметром 720 мм – 18 шт. Результаты исследования показали, что максимальное значение отклонения внутреннего диаметра обследованных труб от номинального значения составляет – 1,07 %, максимальное значение отклонения радиуса кривизны от номинального значения – 8 %, что является допустимым в рамках требований нормативных документов, но критичным при ремонте стальными обжимными муфтами.

2. Разработана и запатентована конструкция прибора для измерения кривизны крупногабаритных деталей, позволяющая существенно повысить точность и производительность работ при дискретной оценке кривизны труб и элементов муфт в сечениях.

3. Предложены два критерия установки стальных обжимных муфт на трубе, позволяющих повысить эффективность ремонта: 1. По минимизации суммарной разности локальной кривизны трубы и муфты. 2. По минимизации суммарного зазора между муфтой и трубой.

4. По результатам математического моделирования разработан оригинальный способ поиска точек соприкосновения поперечных сечений несовершенной наружной поверхности трубы и несовершенной внутренней поверхности полумуфты. Получены уравнения для определения величины зазора между наружной поверхностью трубы и внутренней поверхностью муфты в точках с разными угловыми координатами при заданном угловом положении муфты относительно трубы.

5. Определена последовательность действий, необходимых для оптимизации углового положения муфты с учетом несовершенства формы сопрягаемых поверхностей трубы и муфты, а также с учетом углового положения дефекта. Указанная последовательность действий основана на сравнении величин зазоров между муфтой и трубой при разных угловых положениях муфты относительно трубы.

6. В ходе экспериментов обнаружена точка излома графика «коэффициент усиления муфты – давление в трубе», соответствующая началу работы муфты и свидетельствующая о закрывании зазора. Результаты испытаний показали, что муфта, установленная в соответствии с критерием 2 (с минимальным зазором), демонстрирует лучшие результаты работы (коэффициент усиления - максимальный, давление начала работы – минимально).

7. Разработана методика проведения эффективного ремонта трубопроводов с применением стальных обжимных муфт, учитывающая тип, размеры и местоположение дефекта, механические напряжения в стенке трубопровода, размеры области металла с возможными изменениями механических свойств, давление разрушения трубы с дефектом, условия размещения муфт, обеспечивающие минимально возможный зазор между трубой и муфтой в области дефекта.

8. На основании результатов исследования разработаны программное обеспечение для подбора положения муфты, Стандарт предприятия ООО «ГазЭнерго-Сервис» реализованные при ремонте 99 дефектов конденсатопровода «Вуктыл-СПЗ», км. 0-174.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах

Статьи в изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ:

1. Федоров А.Г., Шарыгин В.М., Попков А.С., Макаров С.Н. Оценка влияния геометрии труб на надежность и экологическую безопасность эксплуатации отремонтированных участков газопроводов / Оборудование и технологии для нефтегазового комплекса. – 2014. - №5. - 71-75 с.

2. Федоров А.Г., Агинеи Р.В., Попков А.С., Макаров С.Н. Оценка силовой эффективности стальных обжимных муфт, установленных на дефектный участок газопровода/ Оборудование и технологии для нефтегазового комплекса. – 2015. - №1. - 55-60 с.

3. Федоров А.Г. Расчетно-экспериментальная оценка работоспособности стальных обжимных муфт для ремонта трубопроводов / Трубопроводный транспорт: теория и практика. – 2015. - №2. – 44-47 с.

4. Федоров А.Г., Гуськов С.С., Агинеи Р.В. Математическая модель влияния геометрических несовершенств сопрягаемых поверхностей на эффективность ремонта газонефтепроводов с использованием стальных обжимных муфт / Трубопроводный транспорт: теория и практика. – 2016. - №6. – 8-13 с.

5. Федоров А.Г., Попков А.С., Хотеев К.В., Крюков А.В. Оценка влияния геометрии труб на надежность отремонтированных участков газопроводов/ Газовая промышленность.-2016.-№737.-с.22

6. Федоров А.Г., Агинеи Р.В., Гуськов С.С. Программное обеспечение для определения оптимального углового положения муфты на трубопроводе с учетом геометрических несовершенств сопрягаемых поверхностей / Трубопроводный транспорт: теория и практика. – 2017. - №6. – 26-33 с.

Свидетельства и патенты:

7. Пат. на полезную модель №153456 RU, МПК G 01 B 11/255. Устройство для измерения радиуса кривизны цилиндрической поверхности крупногабаритных деталей / В.М. Шарыгин, А.С. Попков, А.Г. Федоров - № 2014137344/28; Заявл. 15.09.2014; Опубл. 20.07.2015. – Бюлл. №20.

8. Пат. на полезную модель №158170 RU, МПК F 16H B 11/255. Муфта для ремонта трубопровода / А.Г. Федоров, А.С. Попков, Р.В. Агинеи - № 2015117074/06; Заявл. 05.05.2015; Опубл. 20.12.2015. – Бюлл. №35.

Статьи в научно-технических сборниках и других изданиях:

9. Федоров А.Г., Попков А. С. Оценка влияния технологических зазоров на эффективность ремонта трубопровода стальными муфтами / IX Международная учебно-научно-практическая конференция «Трубопроводный транспорт–2013»: Материалы конференции. – Уфа: УГНТУ, 2013. – С. 261-264.

10. Федоров А.Г., Бирилло И.Н., Попков А. С. Оценка эффективности ремонта трубопроводов стальными обжимными муфтами / Международный семинар «Рассохинские чтения»: Материалы семинара: в 2 ч.; ч. 2. – Ухта. – УГТУ, 2014. – С. 21-28.

11. Федоров А.Г., Попков А. С. Повышение надежности и экологической безопасности эксплуатации газонефтепроводов путем совершенствования ремонтных технологий / XV Международная молодежная научная конференция «Севергеоэко-тех-2014»: Тезисы докладов: в 2 ч.; ч. 2. – Ухта: УГТУ, 2014.- С .95-101.

12. Федоров А.Г. Оценка влияния кривизны поверхности газопроводов на эффективность их ремонта стальными обжимными муфтами / Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых учёных (с международным участием) «Проблемы функционирования систем транспорта»: Материалы конференции: в 2 т.; т. 2. - Тюмень: ТюмГНГУ, 2014. – С . 332-339.

13. Федоров А.Г. Исследование влияния кривизны наружной поверхности газопроводов на эффективность их ремонта муфтовыми технологиями / VIII Международная научно-техническая конференция «Надежность и безопасность магистрального трубопроводного транспорта» : Материалы конференции. - Новополюк: ПГУ, 2014.- С. 64 - 69.

14. Федоров А.Г., Попков А. С. Оценка эффективности стальных обжимных муфт с учетом особенностей геометрии ремонтируемых трубопроводов / Международный семинар «Рассохинские чтения»: Материалы семинара: в 2 ч.; ч. 2. – Ухта. – УГТУ, 2015. – С. 21-28.

Отпечатано в типографии
Ухтинского государственного технического университета
Республика Коми, г. Ухта, ул. Октябрьская, 13
Подписано в печать 12.04.2017 г.
Усл. п. л. 1,6. Тираж 100 экз. Заказ №5628