

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

Институт машиностроения
(наименование института полностью)

Сварка, обработка материалов давлением и родственные процессы
(кафедра)

15.04.01 «Машиностроение»

(код и наименование направления подготовки, специальности)

Производство и ремонт сварных конструкций газонефтехимического

(направленность (профиль)/специализация)

оборудования

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

на тему Технология ремонта магистральных нефтепроводов и
нефтепродуктопроводов с давлением до 6.3 МПа

Студент(ка)	<u>С.Л. Кульчицкий</u> (И.О. Фамилия)	_____	(личная подпись)
Научный руководитель	<u>В.В.Ельцов</u> (И.О. Фамилия)	_____	(личная подпись)
Консультанты	<u>Т.А. Варенцова</u> (И.О. Фамилия)	_____	(личная подпись)

Руководитель магистерской
программы д.т.н, профессор В.В. Ельцов _____
(ученая степень, звание, И.О. Фамилия) (личная подпись)
« ____ » _____ 20 ____ г.

Допустить к защите

Заведующий кафедрой __ д.т.н, профессор В.В. Ельцов _____
(ученая степень, звание, И.О. Фамилия) (личная подпись)
« ____ » _____ 20 ____ г.

Тольятти 2019

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
1 Состояние вопроса	6
1.1 Анализ применяемых вариантов ремонта дефектов трубопроводов	6
1.2 Муфты, применяемые при ремонте трубопроводов.....	18
1.3 Задачи работы	41
2 Методика исследований	44
2.1 Выбор оборудования для измерения геометрии труб	44
2.2 Методика проведения исследований	50
3 Результаты исследований.....	54
3.1 Результаты исследований геометрии труб.	54
3.2 Определение зазора между трубой и муфтой.	55
3.3 Результаты определения деформаций муфт, установленных с различными значениями зазоров	56
4 Технологические рекомендации ремонтным службам	61
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	63
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	64

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время важнейшими товарами Российской Федерации на мировом рынке являются нефть и газ. Также они являются сырьем для многих предприятий в самой России, например, топливно-энергетического комплекса, нефтехимической промышленности. Таким образом, эффективная добыча и транспортировка нефти и газа к потребителю (или покупателю) является актуальной как для нефтегазовой отрасли, так и для экономики всей страны.

Известно, что в процессе эксплуатации трубопроводы находятся под воздействиями нагрузок. Это могут быть статические нагрузки, динамические, с различным временем действия на трубопровод. Зачастую, следствием этого является возникновение дефектов трубопроводов. Для ремонта возникших дефектов может быть применен такой кардинальный метод, как замена дефектного участка новой трубой. Но при значительных количествах повреждений трубопроводов финансовые затраты достигают неприемлемых значений. Поэтому в практике ремонта широкое распространение получили способы ремонта, при которых вырезка дефектного участка не нужна, и, по возможности, продолжается транспорт нефти.

Ремонт повреждений трубопроводов, выполняется, в основном, после выполнения 100% диагностики и сопровождается переукладкой и переизоляции. Технология ремонта предусматривает работу на одном или нескольких межкрановых участках протяженностью более 30 км.

Однако практика показывает, что условия эксплуатации трубопроводов на таких участках, и как следствие, концентрация дефектов по длине могут существенно отличаться. Также следует учитывать высокий уровень затрат при капитальном ремонте участков трубопроводов. В некоторых случаях для обеспечения эксплуатации нефтепроводов необходим срочный ремонт отдельных дефектов, достигших критического размера.

В связи с изложенным экономичным вариантом ремонта трубопроводов является ремонт с применением муфтовых технологий. Во всяком случае, перечень технологий ремонта, имеющихся в распоряжении, примерно,

следующий: вырезка дефектного участка и установка катушки; наплавка дефекта; применение полимерных составов; применение муфт.

Таким образом, проблема повышения эффективности ремонтных технологий с использованием муфт является актуальной. Для определения вариантов повышения эффективности необходим комплекс исследований характеристик отремонтированного участка. Отсюда сформулируем цель. Отсюда сформулируем цель работы – повышение качества ремонта сварных соединений трубопроводов.

Для достижения сформулированной цели, в работе были поставлены следующие основные задачи:

- выбрать способ ремонта дефектного участка трубопровода;
- выполнить анализ возможных вариантов повышения производительности способа;
- определить необходимые исследования, требуемые для успешного внедрения выбранного способа в практику;
- разработать методику проведения экспериментальных исследований;
- выполнить эксперименты, обработать их результаты; и оценить их результаты;
- по результатам экспериментов сделать соответствующие выводы.

Поставленные задачи определили структуру магистерской диссертации, которая состоит из введения, трех глав, заключения.

Предмет и объект исследования определяется тематикой работы, ее целью и задачами.

Предметом исследования являются методы ремонта дефектов трубопроводов.

Объектом исследования выступает процесс устранения дефектов трубопроводов за счет применения приварных муфт.

Теоретической, методологической и информационной базой исследования послужили:

- ГОСТы, нормативные документы,;

– труды российских и зарубежных специалистов в области сварки и контроля;

– научные статьи в современной периодической печати;

– данные официальных сайтов промышленных учреждений и информационно-аналитических агентств.

В ходе исследования использовались общенаучные и специальные методы познания, а именно системный анализ как методология постановки и подхода к решению проблемы в целом, приемы логического и сравнительного анализа и синтеза, методы сравнений, абстрактно-логических суждений.

Теоретическая значимость исследования заключается в том, что предпринята попытка расчета остаточных напряжений в ремонтируемых с применением сварных трубопроводах.

Практическая значимость исследования заключается в том, что сделанные по их результатам выводы и рекомендации ориентированы на конкретное внедрение в практику ремонта повреждений трубопроводов.

1 Состояние вопроса

1.1 Анализ применяемых вариантов ремонта дефектов трубопроводов

В практике ремонта дефектов трубопроводов нашли применение следующие способы ремонта:

- установка катушки после удаления дефектного участка полностью;
- шлифование поверхности дефекта и наплавка;
- применение упрочняющих полимерных составов
- ремонт с помощью муфт.

Процесс автоматической сварки самозащитной порошковой проволокой является хорошей альтернативой ручной дуговой сварки при ремонте сваркой линейных участков магистральных газопроводов. Исследование восстановленных наплавкой самозащитными порошковыми проволоками Innershield NR-207 и Pipeliner NR-208-XP дефектных участков труб класса прочности К60 показало высокие механические характеристики металла наплавленных участков [14].

Ремонт стыков действующих магистральных трубопроводов под давлением проводится в следующей последовательности.

Ремонт облицовочного слоя кольцевых стыков магистральных трубопроводов проводится без остановки транспорта нефти и нефтепродуктов после проведения контроля загазованности воздушной среды в месте производства работ, с соблюдением мероприятий по безопасному проведению сварочных работ [11, 18].

Подготовка кольцевых стыков магистральных трубопроводов к ремонту выполняется в следующей последовательности.

Перед проведением контроля кольцевые стыки должны быть очищены от изоляционного покрытия, снега, грязи, масла и других загрязнений.

Кольцевые стыки и прилегающие к ним поверхности трубы должны быть зачищены от ржавчины до чистого металла (шлифмашинкой с дисковой

проволочной щеткой или вручную металлической щеткой) на ширину не менее 10 мм в обе стороны. Брызги расплавленного металла по краям облицовочного шва кольцевых стыков при их наличии должны быть устранены.

При визуальном контроле кольцевых стыков трубопроводов должна проводиться оценка качества формирования шва и поверхностных дефектов шва при их наличии.

Инструментальным контролем на различных участках кольцевых стыков должны быть проверены размеры швов (ширина, усиление), величина подрезов, чешуйчатость поверхности швов ручной сварки, величина наплывов на поверхности швов.

Измерения проводятся измерительным инструментом из комплекта для проведения визуального измерительного контроля.

В результате контроля на кольцевых стыках трубопроводов должны быть отмечены тип и место расположения недопустимых дефектов. Отметка должна проводиться маркером или несмываемой краской.

Перед ремонтом должна проводиться просушка кольцевых стыков.

Просушка кольцевых стыков является обязательной операцией при наличии влаги на поверхности стыков (конденсата, снега, наледи, инея).

Температура просушки от 50°C до 60°C. Ширина зоны нагрева при просушке должна быть не менее 30 мм в каждую сторону от сварного шва.

При просушке должна быть обеспечена равномерность нагрева ремонтируемого участка кольцевого стыка и прилегающих к нему участков поверхности трубы в соответствии с п. 6.3 настоящего документа.

При просушке кольцевого стыка должен проводиться контроль температуры (контактными термометрами). Температура должна замеряться в 2-3 точках на ремонтных участках стыка. Результаты замеров заносятся в Журнал сварки труб и сварочных работ (Форма 15 РД 39-00147105-015-98).

При неблагоприятных условиях погоды необходимо установить инвентарное укрытие для исключения попадания осадков (дождя, снега) в зону сварки и воздействия ветра при скорости более 10 м/с.

Ремонт стыков с недопустимой геометрией облицовочного шва, с неудовлетворительным формированием шва, подрезами и видимыми дефектами на поверхности проводится ручной дуговой сваркой без предварительного подогрева.

Специальная технология ремонта кольцевых стыков

Ремонт кольцевых стыков разрешается выполнять только после производственной аттестации технологии ремонта и допускных испытаний сварщиков. Аттестация технологии сварки проводится в соответствии с требованиями РД-08.00-60.30.00-КТН-050-1-05.

Сварка должна выполняться на минимально короткой дуге с поперечными колебаниями в направлении «снизу вверх» (на подъем).

Сварка при ремонте стыков проводится на постоянном токе обратной полярности (<+> на электроде).

Для улучшения качества сварки при ремонте стыков каждый сварочный пост должен быть снабжен индивидуальным источником питания.

Для улучшения стабильности горения дуги и качества сварки каждый источник питания должен быть снабжен отдельным обратным проводом (кабель заземления).

Ремонт кольцевых стыков с недопустимой седловидностью шва проводится при соблюдении следующих условий:

Ремонт кольцевых стыков с недопустимой седловидностью шва допускается проводить суммарной длиной, равной периметру стыка.

Сварка при ремонте облицовочного слоя шва кольцевых стыков (с усилением менее 1,0 мм или без усиления; с недостаточной шириной шва; с чешуйчатостью шва ручной сварки более 1,0 мм) должна проводиться электродами диаметром 2,5- 4,0 мм.

Для уменьшения твердости в зоне термического влияния (ЗТВ) и предотвращения образования трещин сварка при ремонте облицовочного шва кольцевых стыков трубопроводов должна проводиться в два слоя:

- первый слой должен выполняться с гарантированным проплавлением;

- второй слой накладывается на первый и является отжигающим;
- второй слой должен быть уже первого на величину от 1 до 2 мм с каждой стороны.

Сварка при ремонте облицовочного слоя шва в один слой запрещается.

Сварка при ремонте облицовочного слоя шва должна выполняться отдельными участками. На каждом участке должно накладываться два слоя.

Длина каждого участка должна быть равна длине шва при расплавлении от 1 до 2-х электродов.

Сварка между наложением первого и второго слоев шва на отдельных участках стыка при ремонте облицовочного шва во избежание охлаждения должна выполняться без перерыва.

При ремонте стыков при температуре наружного воздуха ниже плюс 5оС и особенно при отрицательных температурах до минус 30оС интервал времени между окончанием сварки первого и началом сварки второго (отжигающего валика) слоев шва не должен превышать 20 сек.

При вынужденных перерывах при ремонте облицовочного шва первый слой в случае охлаждения необходимо полностью устранить шлифмашинкой (шлифкругом) и повторно провести сварку в два слоя.

В процессе сварки при ремонте облицовочного шва должен проводиться контроль межслойной температуры контактным термометром.

Межслойная температуры после выполнения первого слоя должна быть не менее 50оС. Сварка второго слоя шва после охлаждения первого ниже плюс 50 оС запрещается.

Температура после сварки второго слоя (отжигающего валика) по краям облицовочного шва (в точке сплавления с основным металлом) должна быть не менее 100оС. Контроль температуры должен проводиться контактными пирометрами (термометрами) - прибором ТК-5 или аналогичными.

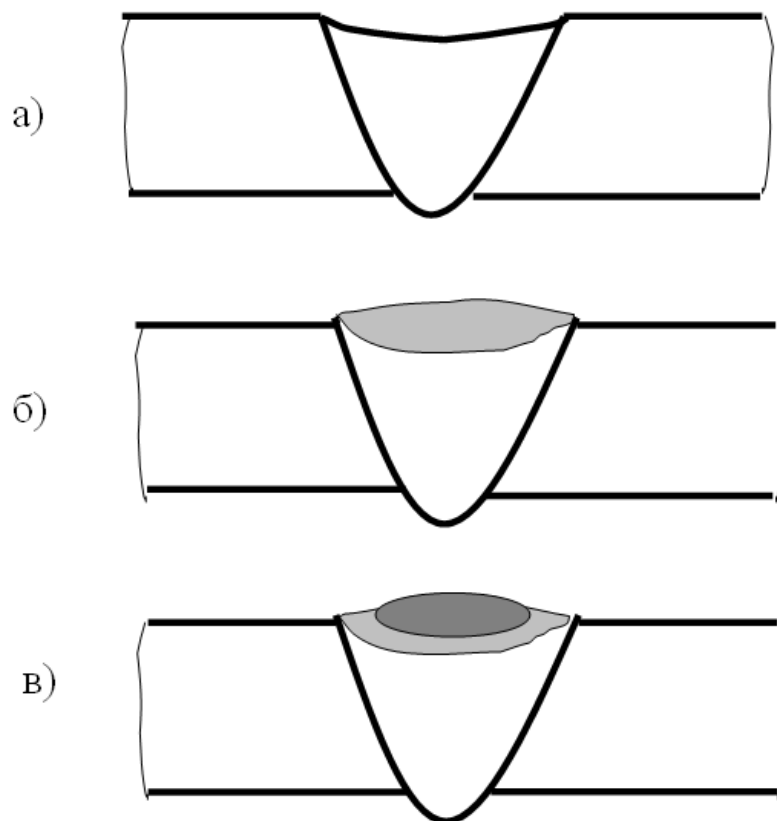
Последовательность наложения слоев при ремонте облицовочного шва с недопустимой геометрией и неудовлетворительным формированием шва приведена на рисунке 1.1.

Рекомендуемые режимы сварки при ремонте облицовочного шва кольцевых стыков трубопроводов приведены в таблице 1.1.

Сварка при ремонте коротких участков облицовочного шва проводится одним сварщиком обратноступенчатым способом.

Т а б л и ц а 1.1 - Режимы сварки при ремонте облицовочного шва кольцевых стыков с недопустимой геометрией и неудовлетворительным формированием шва

Толщина стенки трубы, мм	Слой при ремонте облицовочного слоя шва	Диаметр электрода, мм	Сварочный ток, А
от 5,0 (включительно) до 10,0	1	2,5/2,6 3,0-3,2 4,0	60-70 80-110 140-150
	2 (отжигающий)	3,0-3,2	90-100
от 10,0 (включительно) до 16,0	1	2,5/2,6 3,0-3,2 4,0	60-70 80-110 140-150
	2 (отжигающий)	3,0-3,2	90-110



а) кольцевой шов в исходном состоянии;

б) сварка первого слоя облицовочного шва;

в) сварка второго слоя облицовочного шва (отжигающего валика).

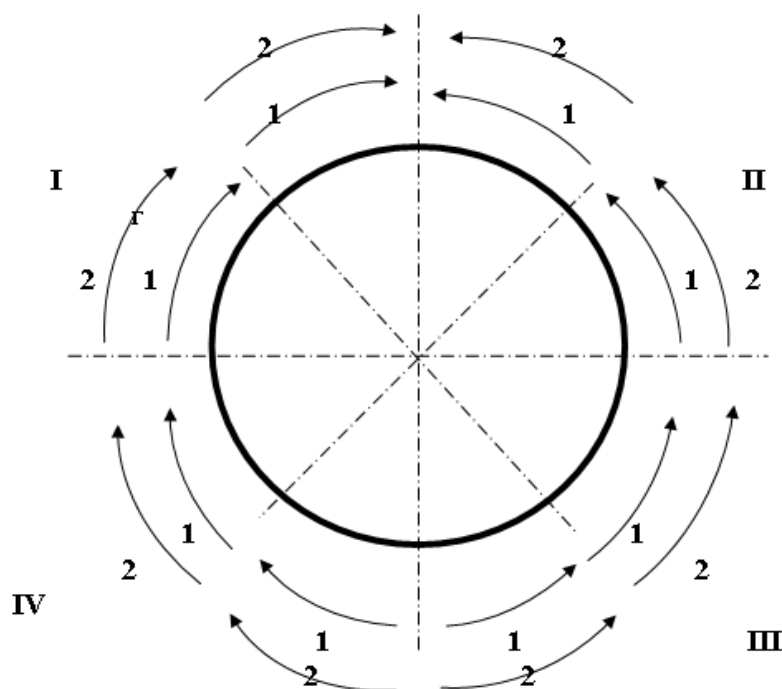
Рисунок 1.1 - Последовательность наложения слоев при ремонте облицовочного слоя шва кольцевых стыков недопустимой геометрии и неудовлетворительным формированием шва

При выполнении ремонта по всему периметру стыка для повышения производительности сварка может выполняться одновременно двумя сварщиками. Сварка должна выполняться в противоположных квадрантах стыка обратноступенчатым способом (рисунок 1.2).

Для уменьшения вероятности образования дефектов начало и конец шва первого и второго слоев при ремонте облицовочного шва должны быть зачищены шлифмашинкой (шлифкругом) на длину 30 мм.

Очистка шва от шлака после сварки первого слоя должна проводиться

непосредственно перед началом сварки второго слоя.



1 – первый слой; 2 – второй слой;

I – IV - квадранты окружности кольцевого стыка.

Рисунок 1.2 - Схема наложения сварных швов по периметру кольцевого стыка при ремонте облицовочных слоев шва отдельными участками обратноступенчатым способом

Поверхностные дефекты по слоям шва в процессе ремонта должны устраняться шлифмашинкой.

После окончания сварки шлак с ремонтируемых участков облицовочного слоя шва удаляется только после остывания стыка.

Усиление сварного шва на ремонтируемых участках стыка должно зачищаться шлифмашинкой (шлифкругом) по центру шва до величины 1,0-3,0 мм.

Ремонт подрезов облицовочного шва производится в следующем порядке:

ремонт подрезов облицовочного слоя шва кольцевых стыков ручной дуговой сваркой проводится при условии, если суммарная длина подрезов не превышает $1/6$ периметра ремонтируемого стыка. Максимальная глубина подрезов, ремонтируемых сваркой, не превышает 20 % от толщины стенки

трубы;

при ремонте подрезов облицовочного слоя шва места подрезов должны очищаться от шлака и сглаживаться в глубине подреза до плавного перехода с помощью абразивного круга шлифмашинки;

ремонт подрезов облицовочного шва проводится электродами диаметром 2,5- 3,2 мм;

сварка при ремонте подрезов должна проводиться ниточными швами в два слоя. Последовательность технологических операций при ремонте подрезов кольцевых стыков трубопроводов приведена на рисунке 1.3;

второй ниточный шов является отжигающим и должен быть уже первого на величину 1,0 мм с каждой стороны;

сварка при ремонте подрезов облицовочного шва в один слой запрещается;

сварка при ремонте подрезов должна проводиться отдельными участками на длину сгорания одного электрода.

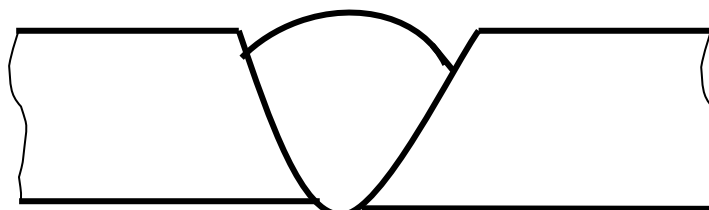
Режимы сварки при ремонте недопустимых подрезов кольцевых стыков приведены в таблице 1.2.

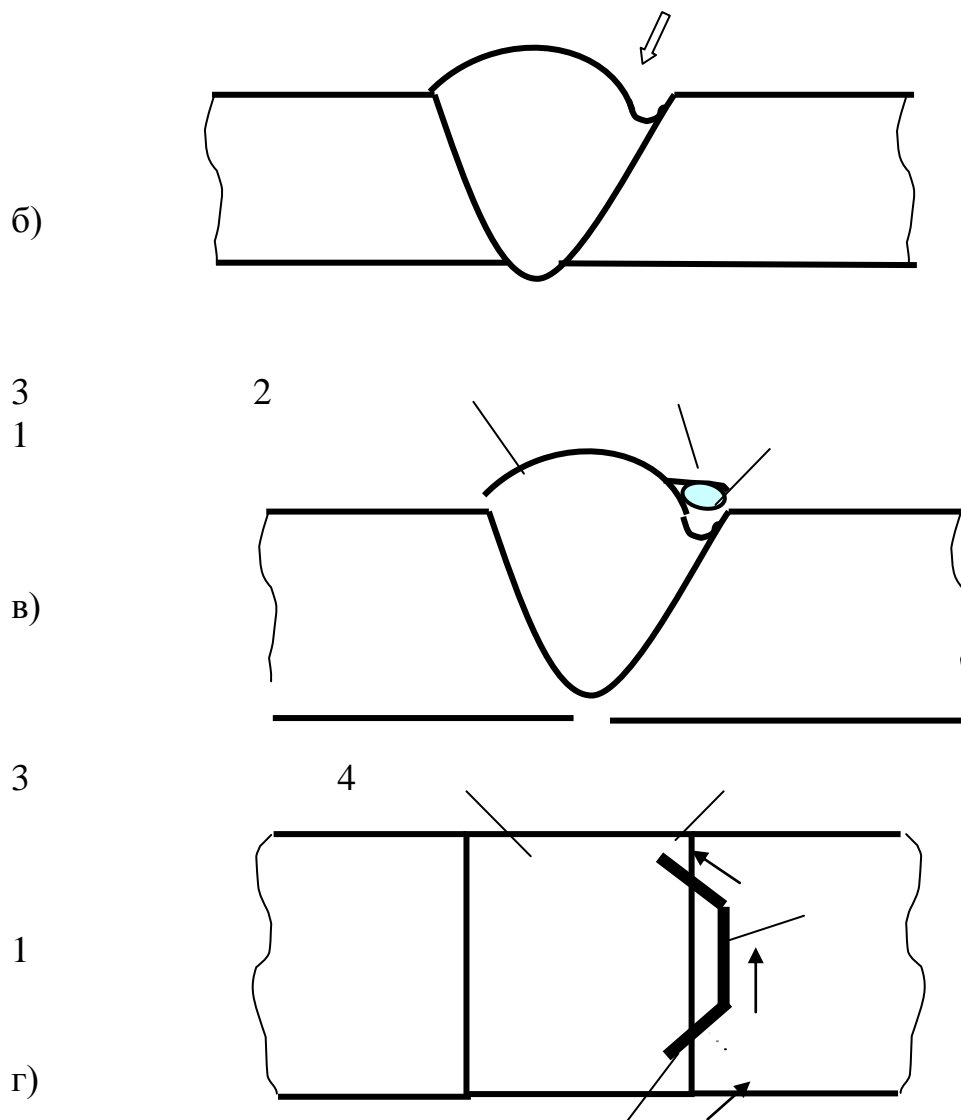
Возбуждение и обрыв дуги при наложении ниточного шва при ремонте подрезов должно осуществляться на поверхности облицовочного слоя шва. Возбуждение и обрыв дуги на поверхности трубы не допускается.

Таблица 1.2 - Рекомендуемые режимы ручной дуговой сварки при ремонте подрезов облицовочных слоев шва кольцевых стыков

Сварочные слои	Диаметр электрода, мм	Сварочный ток, А
1	2,5/2,6	60-90
	3,0-3,2	80-100
2 (отжигающий)	3,0-3,2	90-100

а)





4

а) - общий вид облицовочного слоя шва с подрезами до ремонта; б) - обработка подреза до плавного перехода абразивным кругом; в) - схема наложения слоев при ремонте подрезов: 1 – первый слой ниточного (ремонтного) шва; 2 – второй слой ниточного шва (отжигающий валик); 3 – облицовочный слой шва кольцевого стыка; г) - ремонт подреза по длине облицовочного слоя шва: 1 – ниточный (ремонтный) шов; 4 – вход и выход дуги при наложении ниточного шва.

Рисунок 1.3 - Последовательность технологических операций при ремонте подрезов кольцевых стыков.

При исправлении местных (локальных) подрезов длина ниточного шва первого и второго слоя должна быть не менее 50 мм.

Второй слой (отжигающий) после ремонта подрезов облицовочного шва необходимо зачистить или полностью удалить шлифмашинкой (шлифкругом). Места перехода облицовочного шва к основному металлу должны быть плавными. Величина усиления сварного шва от 1 до 3мм.

Ширина шва после ремонта подрезов должна быть больше неремонтируемого шва на величину не более 3,0 мм.

Брызги металла от сварки на поверхности трубы около шва должны зачищаться напильником. Ремонт подрезов на кольцевом стыке должен проводиться одним сварщиком.

Ремонт видимых дефектов на поверхности облицовочных швов (наплывы, кратеры, чешуйчатость с перепадом более 1,0 мм, трещины в кратерах, поры, сетки пор и т.д.).

Ремонт проводится при условии, если суммарная длина видимых дефектов на поверхности облицовочного шва не превышает 1/6 периметра ремонтируемого стыка.

Перед ремонтом видимые дефекты на поверхности кольцевых стыков (наплывы, кратеры, чешуйчатость с перепадом более 1,0 мм, трещины в кратерах, поры, сетки пор и т.д.) должны устраняться шлифованием (шлифкругом шлифмашинки).

Перед шлифованием дефектов должна проверяться ультразвуковым толщиномером толщина стенки труб и сварного шва и отсутствие дефектов в корне шва в месте расположения дефекта на кольцевом стыке и толщина металла по оси шва после снятия усиления.

Измерение толщины стенки труб должно проводиться на расстоянии не более 20 мм в обе стороны от краев облицовочного шва.

Глубина выборки указанных выше дефектов на кольцевых стыках должна быть не более 20 % толщины стенки трубы относительно наружной

образующей.

По мере выборки дефекта глубина выборки по центру шва должна периодически контролироваться шаблоном сварщика УШС-3.

Остаточная толщина металла шва в месте выборки дефекта определяется как разность между толщиной стенки трубы и глубиной выборки: $t_{ост} = t_1 - t_2$, где t_1 – толщина стенки трубы, мм; t_2 – глубина выборки, мм. Отсчет t_2 проводится от наружной образующей стенки трубы.

Сварка при ремонте видимых дефектов на поверхности облицовочного слоя шва должна проводиться не менее чем в 3 слоя. Начало и окончание сварки следует выполнять на поверхности облицовочного шва.

Во избежание прожога электрод не должен оставаться в одной точке более 7 секунд.

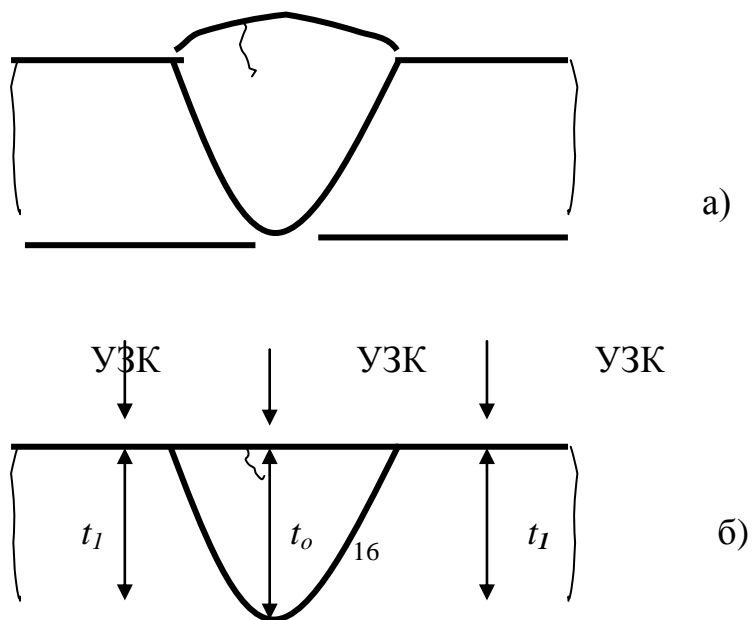
Рекомендуемые режимы сварки видимых дефектов на облицовочном шве кольцевых стыков приведены в таблице 1.3.

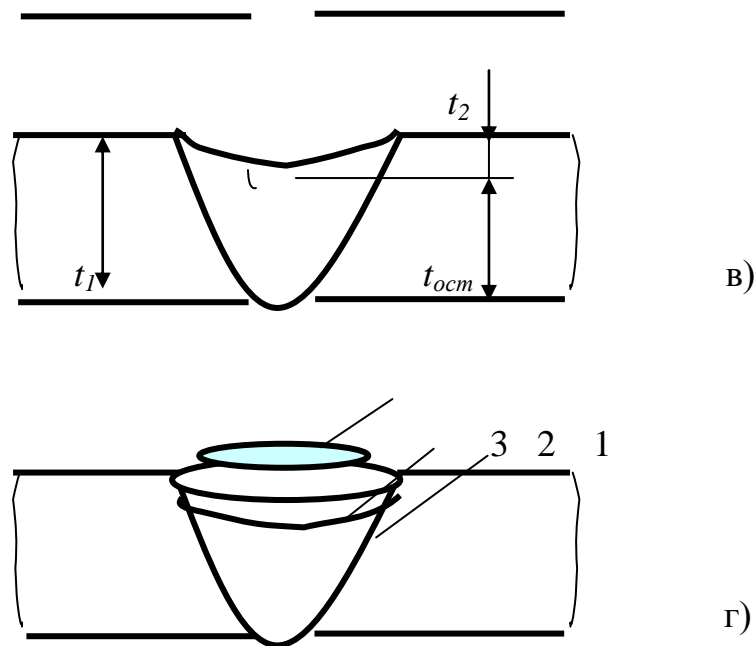
Последовательность технологических операций при ремонте видимых дефектов на поверхности облицовочного слоя шва приведена на рисунке 1.4.

Зажигание дуги следует проводить на поверхности сварного шва. Зажигание дуги и вывод кратера на поверхность трубы запрещается.

Места случайного зажигания дуги на основном металле должны зачищаться напильником.

Видимые дефекты по слоям шва при сварке при ремонте облицовочных швов кольцевых стыков должны устраняться шлифмашинкой.





а) общий вид дефекта до ремонта; б) проверка толщины стенки труб кольцевого стыка и толщины металла шва после снятия усиления (ультразвуковым толщиномером); в) проверка толщины металла шва после выборки дефекта ($t_{ост} = t_1 - t_2$) $t_{ост}$ – остаточная толщина металла после выборки дефекта, мм; t_1 – толщина стенки трубы, мм; t_2 – глубина выборки дефекта (до 20 % от толщины стенки трубы); г) последовательность наложения слоев при ремонте видимых дефектов: 1 – первый слой шва (заполняющий); 2 – второй слой шва (облицовочный); 3 – третий слой (отжигающий валик).

Рисунок 1.4 - Последовательность технологических операций при ремонте видимых дефектов на поверхности облицовочного слоя шва кольцевых стыков

Увеличение ширины облицовочного шва в месте ремонта должно быть не более 3,0 мм на сторону.

Границы перехода от ремонтируемого участка шва к неремонтируемому по периметру стыка должны быть плавными. Наплывы на границах перехода должны зачищаться шлифмашинкой.

Т а б л и ц а 1.3 - Рекомендуемые режимы сварки при ремонте видимых дефектов на кольцевых стыках

Сварочные слои	Диаметр электрода, мм	Сварочный ток, А
1 (заполняющий)	2,5/2,6 от 3,0 до 3,2	от 60 до 80 от 80 до 110
2 (облицовочный)	от 3,0 до 3,2 4,0	от 90 от 110 от 140 до 150
3 (отжигающий)	от 3,0 до 3,2	от 90 до 110

Повторный ремонт сваркой одного и того же дефекта не допускается.

У каждого ремонтного стыка должно быть поставлено клеймо сварщика (сварщиков), выполнившего ремонтную сварку.

Клеймение должно выполняться маркерами в верхней части полуокружности трубы на расстоянии от 100 до 150 мм от стыка и предыдущего клеймения (сдвигать по периметру). Маркировка ручной дуговой сваркой запрещается.

Отремонтированные участки кольцевых стыков должны быть подвергнуты визуально-измерительному контролю (объем 100 %), магнитопорошковому и ультразвуковому контролю [6].

1.2 Муфты, применяемые при ремонте трубопроводов

Поддержание трубопроводной системы в надлежащем техническом состоянии за счет ремонта сваркой без вывода поврежденных участков из эксплуатации является важной научно-практической задачей. В настоящее время в практике ремонтов коррозионных повреждений труб линейной части магистральных нефтепроводов все большее распространение получают технологии, связанные с применением усиливающих сварных муфт. В простейшем варианте такие конструкции состоят из двух симметричных полубечаек, которые в процессе монтажа обжимают по наружной поверхности трубы для создания плотного контакта (натяга). Как правило, подобные операции совершаются при условии снижения внутреннего давления в магистрали.

Однако такой простой вариант обладает рядом недостатком, поэтому на практике применяется большое разнообразие конструкций муфт, и для систематизации конструктивных вариантов в работе [18] предложена классификация муфтовых технологий ремонта трубопроводов, рисунок 1.5.



Рисунок 1.5 – Классификация конструктивно-технологических решений ремонта трубопроводов муфтовыми технологиями.

Стеклопластиковая муфта для устранения дефектов в трубопроводах больших диаметров отличаются высокой трудоемкостью изготовления и значительным весом. Из-за высокой трудоемкости изготовления данные муфты получаются дорогими, и применяются редко.

Подробно в настоящей работе рассмотрены наиболее часто применяемые конструкции.

Постоянные ремонтные конструкции:

- муфта композитная,
- муфта приварная обжимная
- муфта галтельная
- муфта сварная с технологическими кольцами
- муфта удлиненная для ремонта гофров с заполнением антикоррозионной жидкостью
- муфта композитная для ремонта вантузов
- муфта композитная для ремонта отверстий
- патрубок с усиливающей накладкой
- тройник муфтовый
- тройник разрезной

Временные ремонтные конструкции:

- муфта приварная с технологическими кольцами и заполнением антикоррозионной жидкостью;
- муфта приварная.

При ремонте дефектов методом установки ремонтной конструкции на временный период при невозможности проведения ремонта вырезкой участков трубопровода.

Типы ремонтных конструкций для ремонта трубы и кольцевых сварных соединений.

Композитно-муфтовая конструкция состоит из двух сваренных половин стальной муфты, устанавливаемой на трубе симметрично по отношению друг к другу и перекрывающих место дефекта. Конструкция муфты, рисунок 1.6,

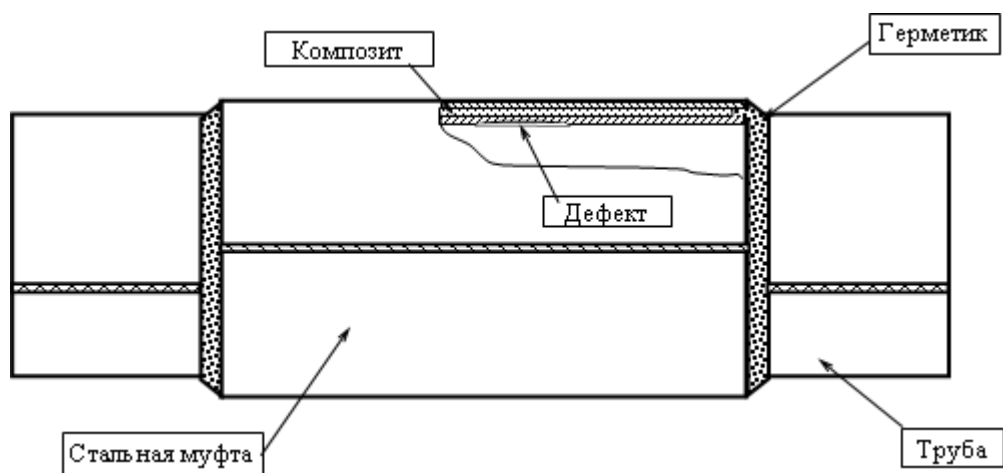


Рисунок 1.6 – Муфта типа композитно-муфтовой технологии
 . Подсоединение к трубе проводится с помощью термитной сварки.

Муфта обжимная приварная с технологическими кольцами устанавливается без зазора между муфтой и трубой. Муфта предназначена для ремонта дефектов стенки трубы и вмятин. Конструкция муфты представлена на рисунке 1.7

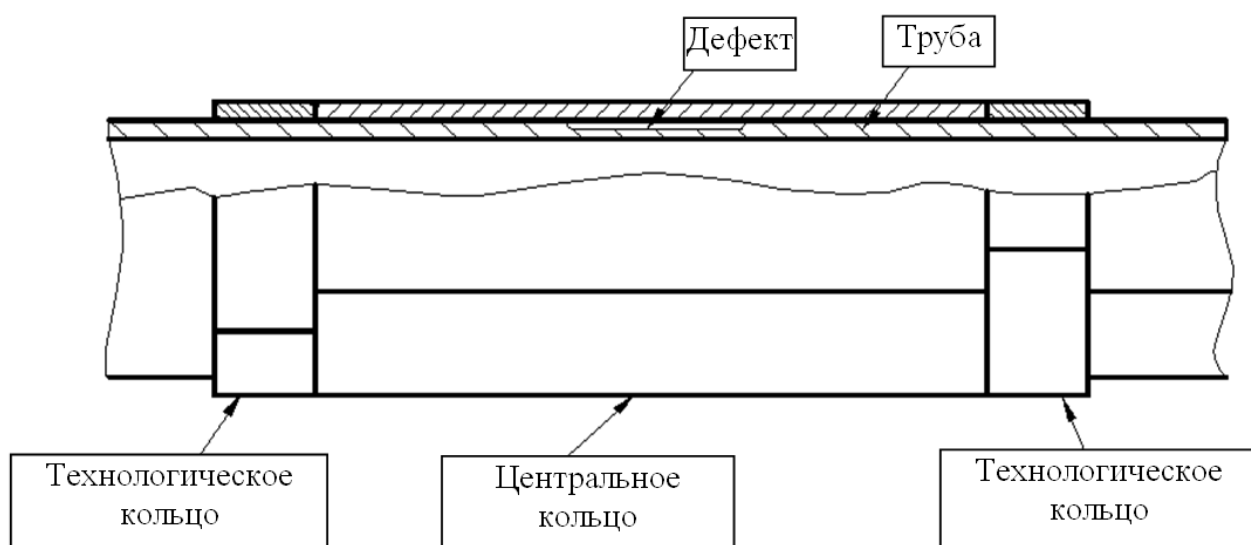


Рисунок 1.7 – Муфта обжимная приварная с технологическими кольцами

Муфта галтельная приварная для ремонта кольцевых сварных швов (рисунок 1.8). Муфта состоит из центрального кольца с галтелью. Галтель

расположена в центральной части каждой полумуфты. Муфта приваривается к трубе угловыми швами.

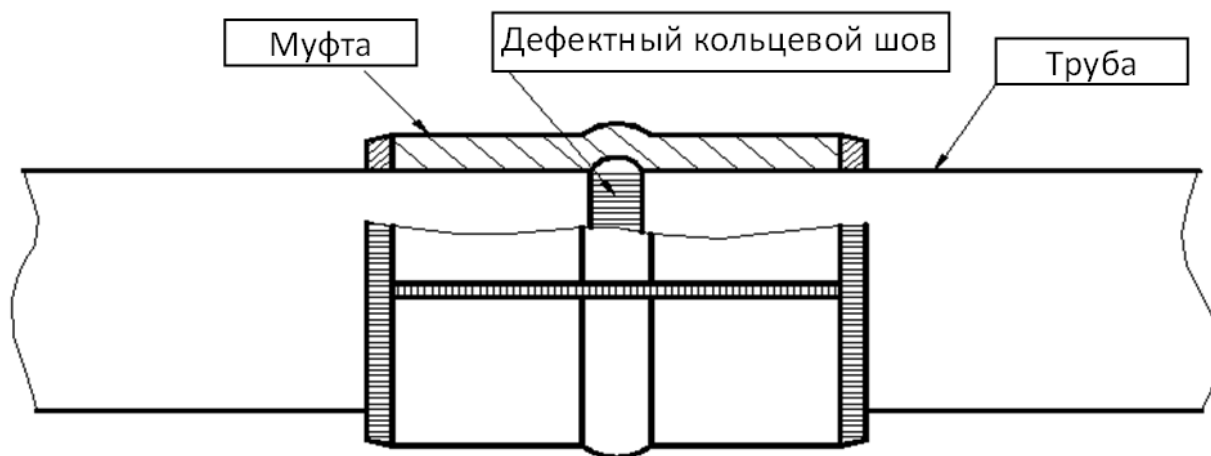


Рисунок 1.8 - Муфта галтельная приварная для ремонта сварных кольцевых
Дефектный кольцевой шов

Муфта приварная с короткой полостью, предназначена для ремонта кольцевых сварных швов с примыканием к поперечному шву. Конструкция муфты, рисунок 1.9.

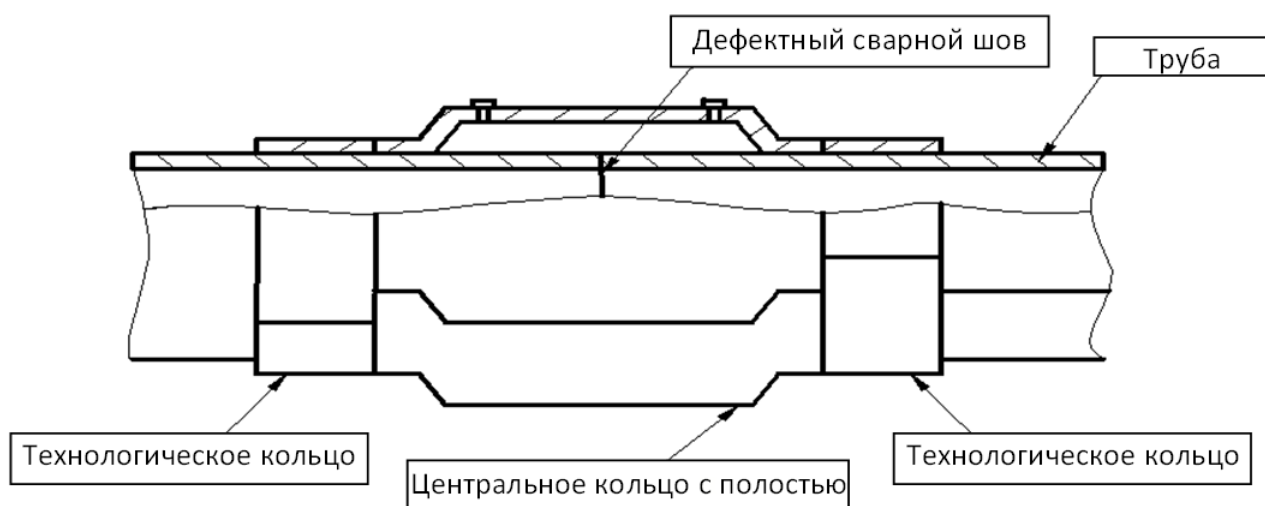


Рисунок 1.9 – Муфта галтельная приварная с короткой полостью для
ремонта сварных швов с примыканием к поперечному шву

Муфта - сварная с технологическими кольцами, рисунок 1.10, предназначена для ремонта кольцевых сварных швов. Муфта состоит из центрального кольца, двух боковых колец и двух технологических колец. Конструкция муфты рисунок 5.

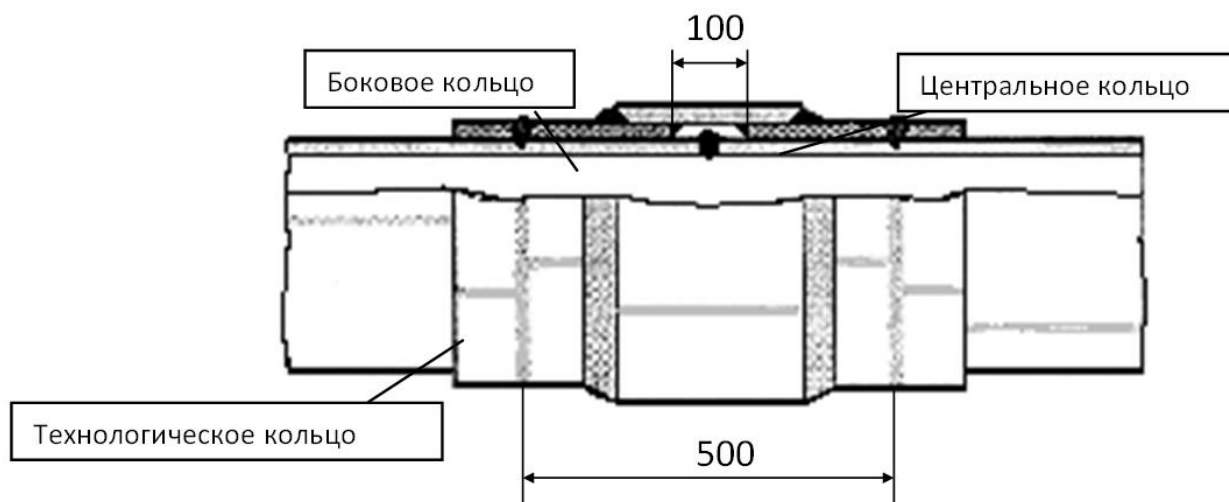


Рисунок 1.10 - Муфта типа сварная галтельная с технологическими кольцами

Муфта – галтельная удлиненная сварная с технологическими кольцами, предназначена для ремонта дефектов стенки трубы, примыкающих к поперечному сварному шву. Муфта состоит из центрального кольца, двух боковых колец и двух технологических колец, рисунок 1.11.

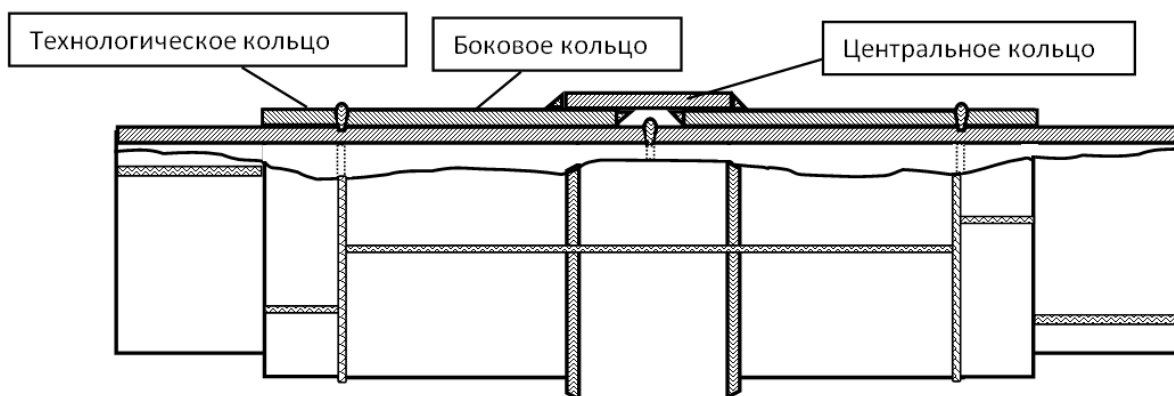


Рисунок 1.11 - Галтельная муфта удлиненная сварная с технологическими кольцами

Муфта с заполнением жидкостью антикоррозионной, предназначена для ремонта гофров. Муфта состоит из центрального кольца с галтелью и двух колец технологических. Центральное кольцо состоит из двух полумуфт, технологические кольца – из двух полуколец, рисунок 1.12.

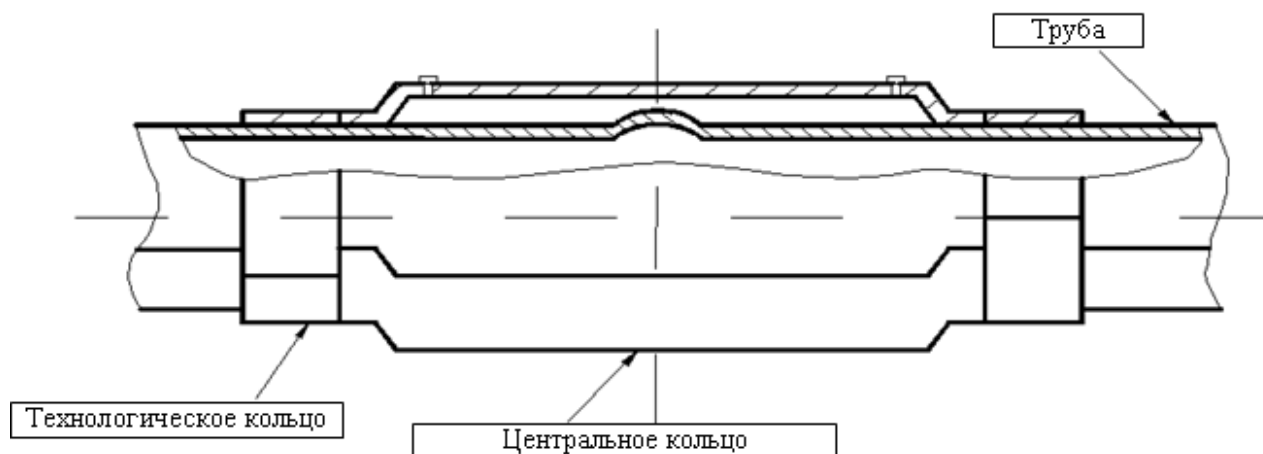


Рисунок 1.12 – Муфта с заполнением жидкостью антикоррозионной

После установки и сварки муфты на трубопроводе, а также заливки жидкости отверстия завинчиваются винтовыми пробками и обвариваются ручной дуговой сваркой.

Муфта с коническими переходами, технологическими кольцами не обжимная с заполнением антикоррозионной жидкостью состоит из центрального кольца, двух боковых колец и двух технологических колец. После установки и сварки, а также заливки жидкости отверстия завинчиваются винтовыми пробками и обвариваются, рисунок 1.13.

Известны другие варианты конструкций муфт, цель которых – увеличение технологичности при монтаже муфты в трассовых условиях и улучшения совместной работы муфты и трубопровода.\

Например известен вариант установки муфты [24] согласно которому замеряется кривизна трубы в области дефекта, замеряется кривизна муфты, и муфта монтируется так, чтобы минимальная кривизна муфты была установлена на область дефекта. Но тогда возможно возникновение зазоров в области

дефекта. Таким образом, в целом, подкрепляющее действие муфты, установленной по данному варианту, не будет столь большим.

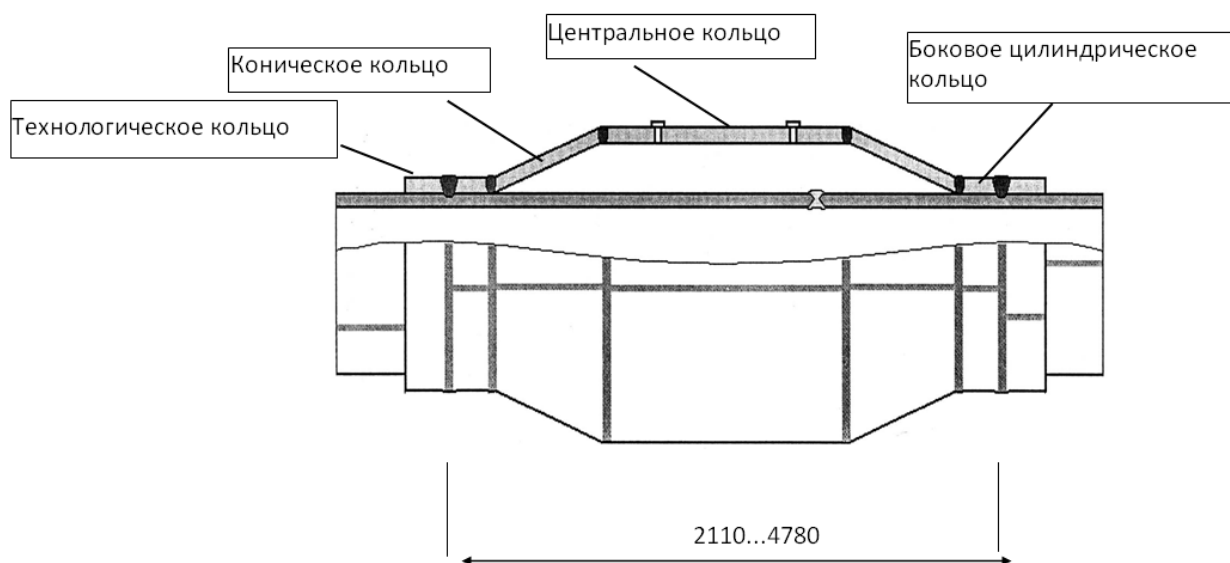
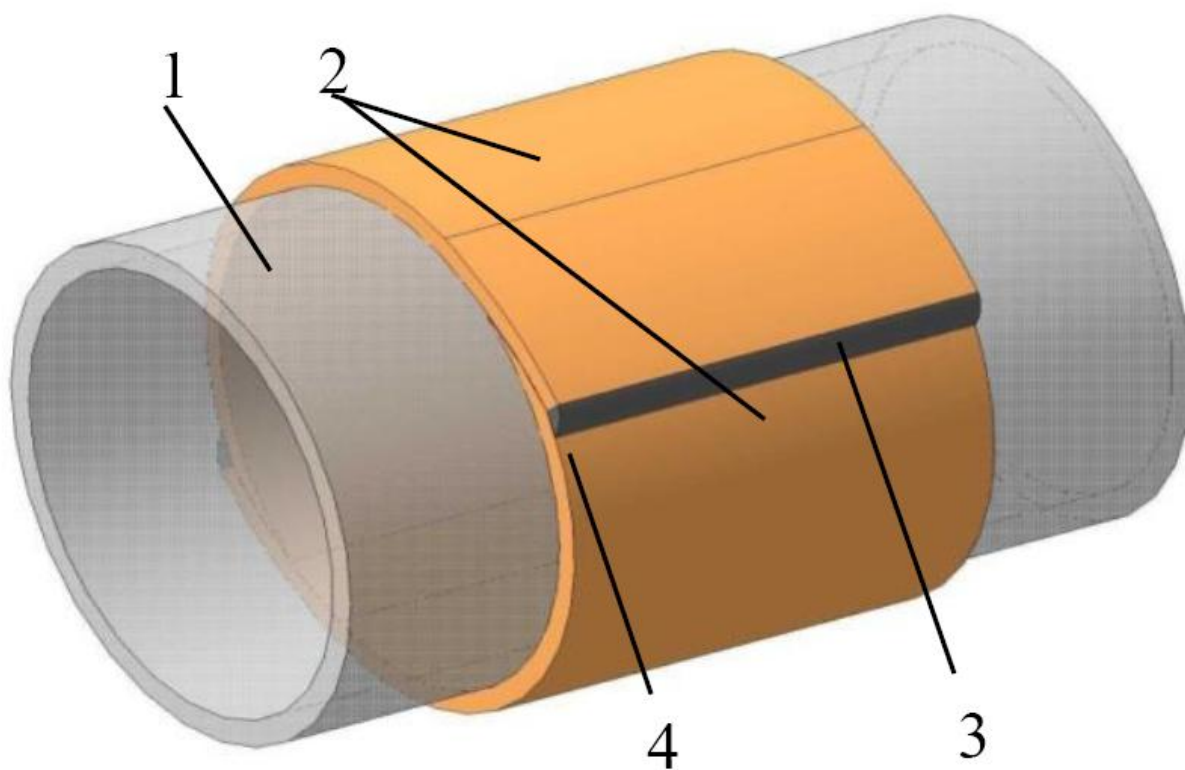


Рисунок 1.13 - Муфта с коническими переходами и заполнением антикоррозионной жидкостью

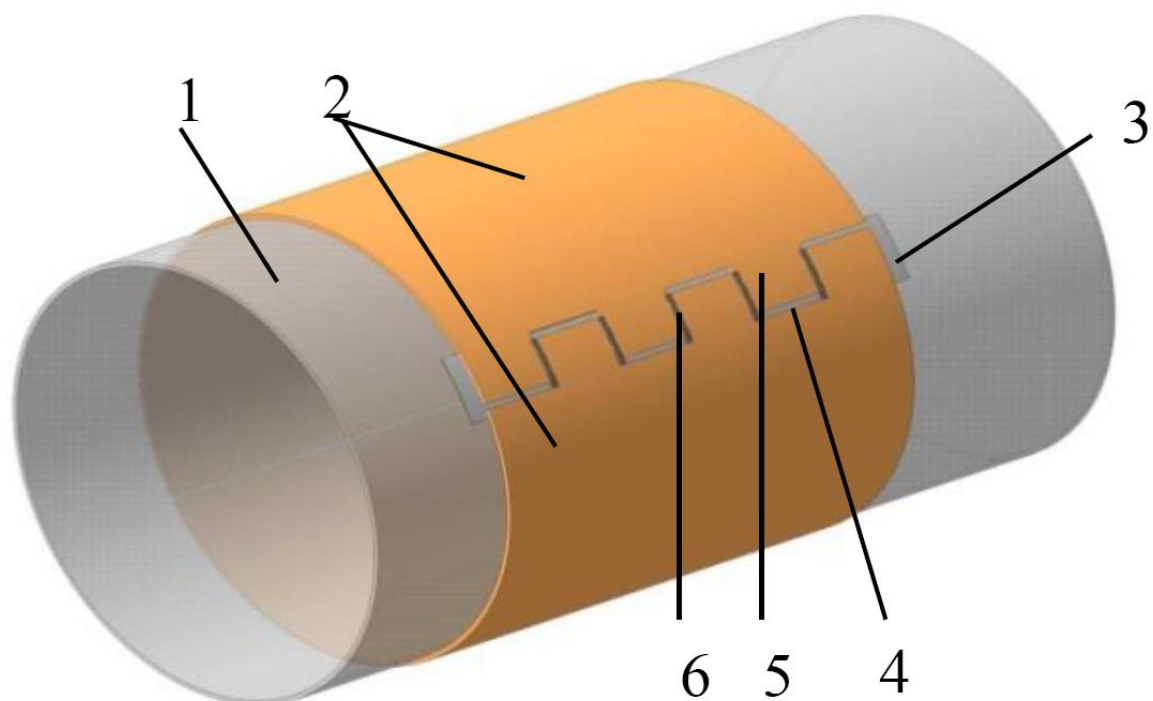
Известна конструкция стальной муфты у которой скошены кромки, [29], рисунок 1.14. Особенности монтажа такой муфты следующие. Сначала на дефектный участок устанавливают первую полумуфту. Затем выполняют установку второй полумуфты, обеспечивая нахлест кромок и последующее соединение кромок сваркой. Такой вариант конструкции муфт делает ненужной их подгонку по длине.

Исключить необходимость подгонки кромок позволяет также вариант конструкции полумуфт, при котором на их продольных краях выполнены п-образные впадины, рисунок .



1 – трубопровод; 2 – полумуфты; 3 – кромки; 4 – сварное соединение

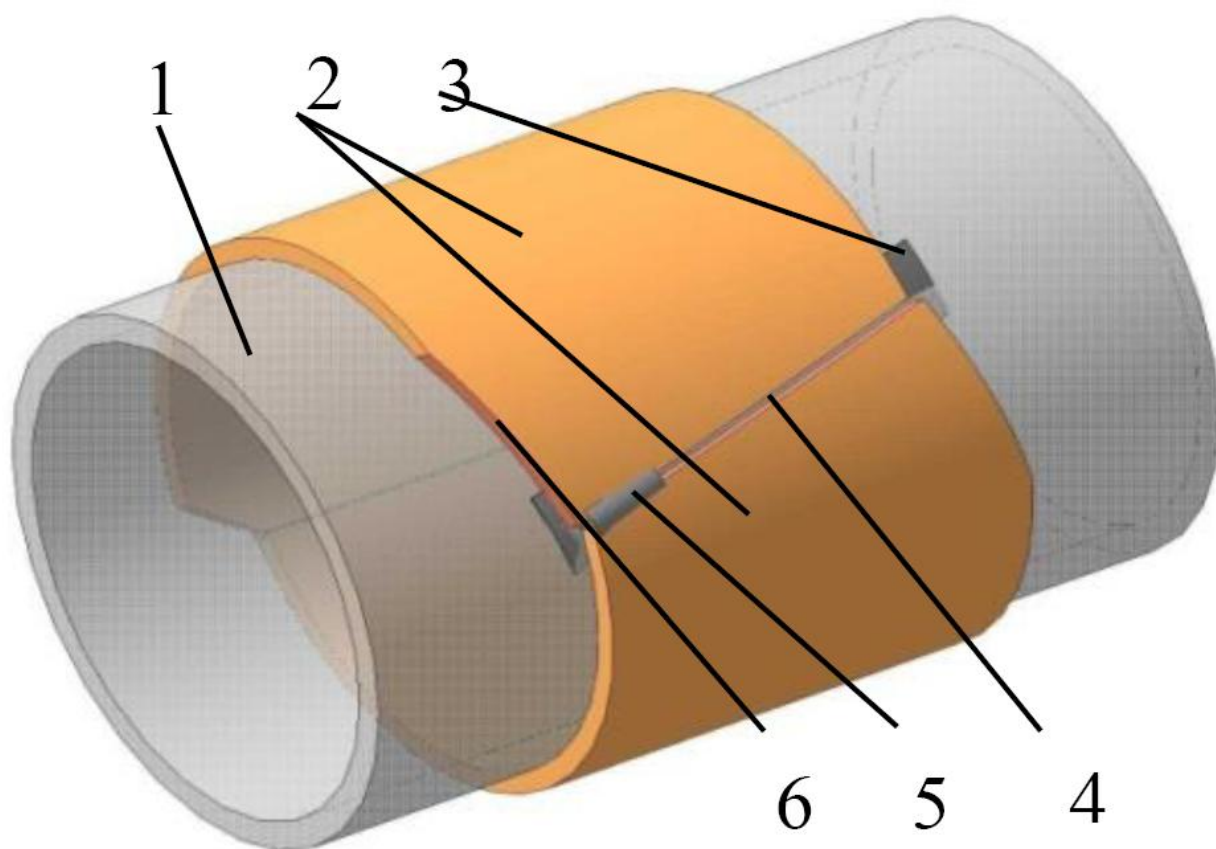
Рисунок 1.14 – Муфта со скошенными кромками



1 – трубопровод; 2 – полумуфты; 3 – подкладная пластина; 4 – впадины; 5 – выступы; 6 – сварное соединение.

Рисунок 1.15 – Муфта с п-образными впадинами.

Согласно [36] для исключения операции подгонки муфты предложен вариант с кромками, выполненными под углом, рисунок 1.16. Путем перемещения полумуфт относительно оси ремонтируемого трубопровода обеспечивается полное прилегание кромок. Конечно, такие муфты, как и с подобными выступами-впадинами нетехнологичны при изготовлении. Кроме того, для данного варианта требуется подрезка кромок после установки. Это плохо тем, что может быть затронут ремонтируемый трубопровод в процессе подрезки.



1 – трубопровод; 2 – полумуфты; 3 – подкладная пластина;
4 – кромки; 5 – сварное соединение; 6 - подрезанные кромки.

Рисунок 1.16 – Муфта с косыми кромками

Выполненный анализ применяемых для ремонта муфт показывает, что универсальной конструкции, несложной в изготовлении и монтаже, но при этом обеспечивающей хорошее подкрепляющее действие нет.

Выполненное математическое моделирование процесса совместной работы трубопровода и муфты производили с учетом следующей рабочей гипотезы механизма взаимодействия трубы и муфты. В процессе нагружения трубы внутренним давлением диаметр трубы увеличивается вследствие появления упругих деформаций в стенке трубы. Если труба и муфта собраны без зазора, то муфта будет сдерживать развитие деформации стенки трубы, воспринимая на себя часть нагрузки от давления в трубе, уменьшая, тем самым, напряжения в стенке.

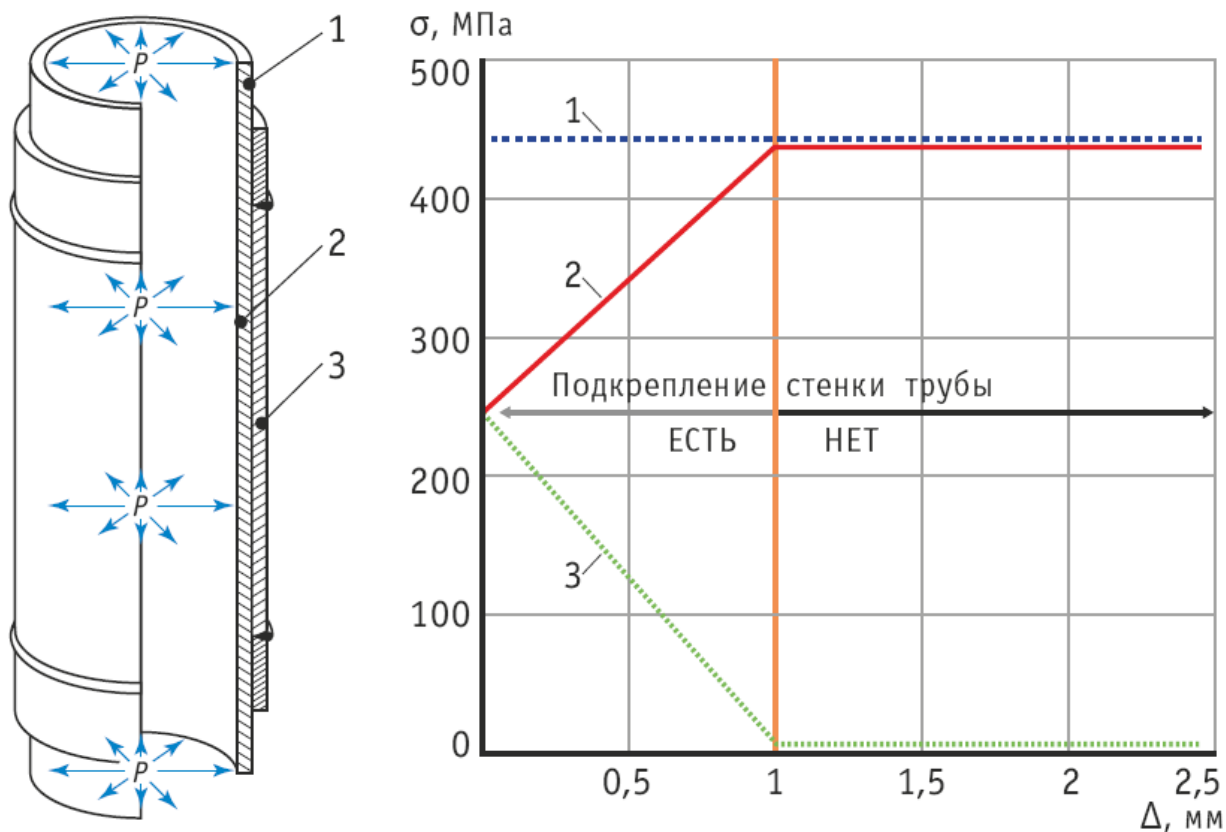
С целью оценить возможную величину эффекта разгрузки трубы муфтой было проведено численное моделирование напряженно-деформированного состояния ремонтной конструкции П2 в зависимости от величины зазора между трубой и муфтой. Для моделирования использовали метод конечных элементов. Приняты следующие параметры модели: наружный диаметр трубы $D_0 = 1000$ мм, толщина стенки трубы $\delta_{тр} = 12$ мм; толщина стенки муфты $\delta_{муф} = 12$ мм; материал трубы и муфты сталь К65 ($\sigma_{02} = 550$ МПа). Максимальное давление в трубе 10,8 МПа. Величину зазора варьировали в диапазоне $0 \leq \Delta \leq 3$ мм. Результаты расчетов приведены на рис. 3. Анализировали напряжения в точке 1, расположенной на трубе вдалеке от муфты, в точке 2, расположенной на трубе под муфтой, и в точке 3, расположенной на муфте.

Положение точек выбирали на таком расстоянии от края муфты, чтобы исключить влияние краевого эффекта.

Можно видеть, при сборке без зазора напряжения в точке 2 и точке 3 имеют приблизительно одинаковую величину, т.е. муфта уменьшает напряжения на отремонтированном участке трубы до ~ 225 МПа. С увеличением зазора роль муфты как подкрепляющего элемента уменьшается. Так при величине зазора $\Delta = 0,5$ мм напряжение в точке 2 $\sigma_{\text{точка2}} \sim 340$ МПа, а в точке 3 $\sigma_{\text{точка3}} \sim 110$ МПа.

Необходимо отметить, что в этом случае подкрепляющее влияние муфты начинает проявляться только после соприкосновения стенки трубы и муфты, и максимальный эффект достигается только при достижении максимального

давления в трубе. С увеличением зазора более 1,0 мм муфта перестает играть роль подкрепляющего элемента даже при максимальном давлении в трубе.



1 – точка определения напряжений вне муфты;

2 – точка определения напряжений в трубе под муфтой;

3 – точка определения напряжений в самой муфте

Рисунок 1.17 – Расчетная схема к определению влияния величины зазора на снижение напряжений в трубе

Это связано с тем, что упругие деформации стеки трубы, вызванные внутренним давлением, приводят к увеличению ее диаметра на величину равную или меньшую, чем величина зазора, и стенка трубы не контактирует с муфтой.

В условиях ремонта на трассе установить муфту П2 с зазором менее одного миллиметра практически нереально [9, 10], кроме того, в некоторых разрешается выполнять сборку трубы с муфтой при зазоре достигающем 3 мм [11]. Поэтому предлагается для обеспечения плотного прилегания стенки трубы

к муфте вводить в зазор между трубой и муфтой эластичный материал. На практике чаще используют полимерный материал. Задача вводимого слоя - устранение зазора и передача давления в трубопроводе на муфту. Ранее недостатки такого варианта были рассмотрены. Вообще применение полимеров для ремонта дефектов магистральных трубопроводов началось в конце 80-х, начале 90-х годов XX века. Это технология фирмы Clock Spring [5], технология ремонт труб полимерными композиционными материалами [6], муфта УКМТ [7] и др.

Материал эластичного слоя должен соответствовать следующим требованиям:

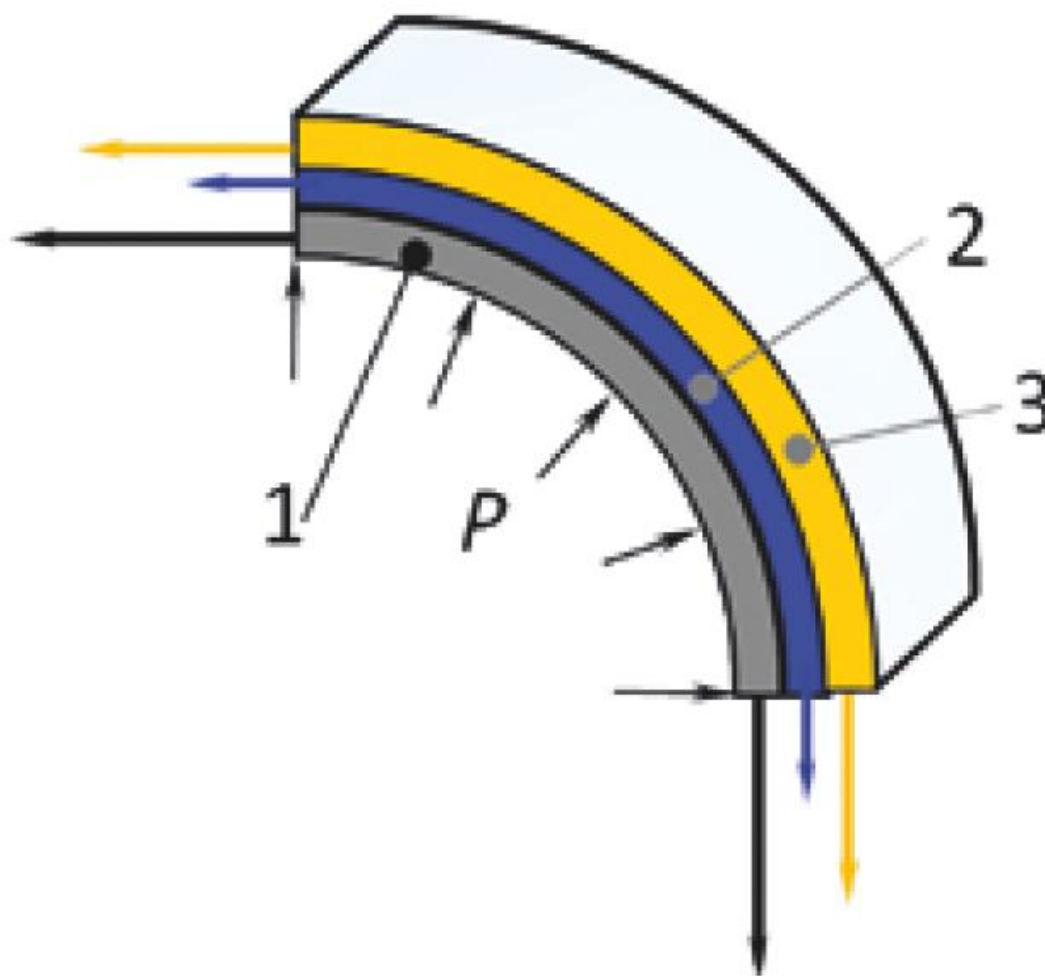
- быть достаточно мягким, чтобы более полно заполнить зазор между трубой и муфтой;
- иметь достаточно большой модуль упругости, чтобы передавать нагрузку от трубы к муфте.

Для моделирования напряженного состояния в трехслойной ремонтной конструкции были выбраны полимерные материалы с различными значениями модуля упругости: полиэтилен высокого давления (ПЭВД); полиэтилен низкого давления (ПЭНД) и поливинилхлорид (ПВХ) гибкий анизотропный рулонированный стеклопластик (ГАРС) и однонаправленный стеклопластик фирмы ARGUS LIMITED, применяемый для муфт Clock Spring.

Для полиэтилена ПЭВД марок 15003-002 и 15503-004 модуль упругости $E = (88,2-127,4)$ МПа [12]; для полиэтилена ПЭНД марок 273-79, 20108-001 и 20308-005 модуль упругости $E = (637,0-880,0)$ МПа [13]; для поливинилхлорида (ПВХ) модуль упругости $E = 2200$ МПа [14], для материала ГРАС ТУ 2296-152-05786904-99 $E = 52000$ МПа, для полотна из однонаправленного стеклополимерного волокна $E = 34500-45000$ МПа.

Моделирование выполняли с использованием метода конечных элементов в программном комплексе ANSYS для следующих исходных данных: наружный диаметр трубы 1020 мм, толщина стенки 12 мм, длина трубы $L = 4000$ мм; материал трубы сталь К60 ($\sigma_b = 590$ МПа; $\sigma_t = 460$ МПа; модуль

упругости $E = 2,08 \cdot 10^5$ МПа; $\delta_5 = 20\%$). Материал муфты сталь К60; длина муфты 1500 мм, толщина стенки 12 мм. Толщина эластичной прослойки — 12 мм. В качестве материала эластичной прослойки принимали ПЭВД; ПЭНД; ПВХ, однонаправленный стеклополимер, стеклопластик ГАРС. Давление внутри трубы $P = 8,3$ МПа. Расчетная схема данной трехслойной конструкции изображена на рисунке 1.18.



1 – труба; 2 – эластичный слой; 3 – муфта

Рисунок 1.18 – Схема фрагмента

При расчете принимали допущение, что слои скользят с коэффициентом трения 0,2. Принимая во внимание возможность появления в муфте сложного напряженного состояния, напряженное состояние отдельных слоев определяли эквивалентные напряжения по фон Мизесу σ_i :

(1.1)

где: σ_1 ; σ_2 ; σ_3 — компоненты главных напряжений.

В таблице 1.4 показаны результаты расчетов напряжений в различных точках в соответствии с расчетной схемой на рисунке 1.18. Расчеты выполняли согласно давлению в трубе 8,3 МПа. При этом давлении в стенке трубы вдалеке от муфты (точка 1 на рис. 1.17) эквивалентные напряжения составляли $\sigma_i = 353$ МПа. В скобках приведена относительная доля нагрузки, воспринимаемая отдельными слоями ремонтной конструкции в процентах от значения эквивалентных напряжений в точке 1.

Таблица 1.4 – Результаты расчетов

Наименование слоя	Материал прослойки				
	ГАРС	Стеклополимер	ПВХ	ПЭНД	ПЭВД
Стенка трубы	164 (46%)	168 (48,4%)	180,5 (51%)	201 (58%)	264 (74,7%)
Прослойка	40 (11%)	30,5 (8,6%)	3,8 (1%)	2,13 (0,6%)	0,98 (0,3%)
Стенка муфты	153 (43%)	157 (43%)	167 (48%)	147,5 (41,4%)	88,5 (25%)
Коэффициент β_m	2,15	2,10	1,96	1,76	1,34

Как следует из приведенных данных при возрастании модуля упругости материала прослойки наблюдается уменьшение напряжений в стенке трубы и их рост в стенке муфты возрастают. Таким образом, эффективность муфты увеличивается.

Для оценки эффективности муфты рассмотрим отношение напряжений в точке 1, см. рис. 1.17 к напряжениям в точке 2, см. рис. 1.17. Это отношение обозначим β_m . Его физический смысл – эффективность муфты как ремонтной конструкции, воспринимающей нагрузку от стенки трубопровода. При равенстве толщин стенки трубы и стенки муфты и при сборке с нулевым зазором и без полимерной прослойки $\beta_m = 2$; с возрастанием зазора β_m может достичь единицы. В ремонтных конструкциях с полимерной прослойкой (табл. 1.4) $\beta_m > 1$, причем величина β_m . Обращает на себя внимание то, что данный коэффициент не зависит давления в трубе. Следовательно, муфта воспринимает часть давления в трубе как при низких, так и при высоких значениях давления.

Если модуль упругости материала прослойки мал - ПЭНД; ПЭВД; ПВХ - значения напряжений в прослойке составляют около 1% от напряжений в трубе, в то время как коэффициент эффективности ремонтной конструкции β_m составляет достаточно большую величину — 1,34...1,96, т.е. достигает значения $\beta_m = 2$, характерного для сборки муфты без зазора. Таким образом, при малых значениях модуля упругости прослойки ($E < 3000$ МПа) эффективность ремонтной конструкции возрастает главным образом за счет устранения зазора между трубой и муфтой и более полной передачи нагрузки на муфту в радиальном направлении. Важно отметить, что благодаря малому модулю упругости прослойка может заполнять неровности поверхности трубы и обеспечивать более полное прилегание муфты к трубе.

При росте значений модуля упругости материала прослойки увеличиваются напряжения, воспринимаемые прослойкой, и достигают 11% для прослойки из ГРАС. При этом доля нагрузки, воспринимаемая муфтой, уменьшается. Таким образом, при больших значениях модуля упругости материала прослойки увеличение коэффициента эффективности ремонтной конструкций связано с тем, что часть нагрузки воспринимает прослойка, и, следовательно, степень увеличения β_m зависит от толщины прослойки. Недостатком применения полимерных материалов с большим модулем упругости является то, что вследствие высокой жесткости такой прослойки не удастся обеспечить их плотное прилегание к поверхности трубы в местах местных неровностей.

Таким образом, наиболее эффективно применение для прослоек материала с $1000 \text{ МПа} < E < 3000 \text{ МПа}$ за счет лучшего прилегания муфты к трубе.

Установка ремонтной конструкции (муфты) является эффективным способом оперативного ремонта трубопровода, поскольку позволяет проводить его без остановки перекачки продукта. Ремонт установкой муфты, как правило, проводят при утонении стенки на большой площади вследствие коррозии и эрозии. Сварная герметичная ремонтная муфта, в простейшем случае

выполняется из двух полумуфт, устанавливаемых поверх дефекта и соединенных сначала продольными швами, а потом приваренных к трубе кольцевыми швами. Отремонтированный таким образом участок должен обеспечивать требуемый срок эксплуатации.

Одной из важных разновидностей муфт является разрезной тройник, рисунок 1.19. Разрезной тройник предназначен для ремонта технологических отводов, а также таких повреждений нефтепроводов, как врезки трубопроводов. Опыт эксплуатации нефтепроводов показывает, что ресурс этой муфты не превышает 15 лет.

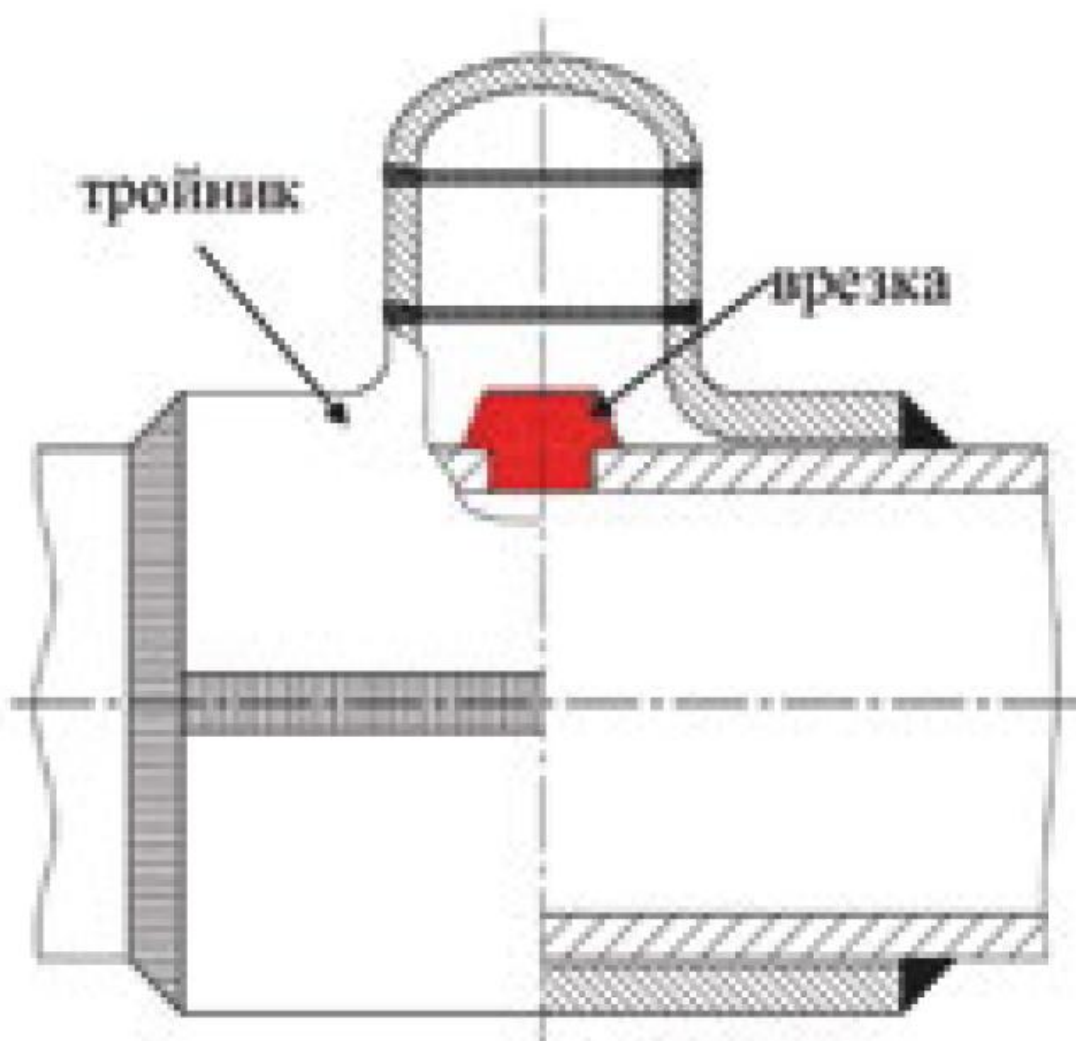


Рисунок 1.19 – Разрезной тройник

Анализ работы таких ремонтных конструкций под давлением показывает, что проблемной зоной является кольцевой угловой шов, соединяющий муфту с трубой. Недостаточная долговечность связана с двумя

факторами, первым из которых является схема нагружения муфты. Жидкость, попавшая под муфту, создает высокие растягивающие напряжения в корне шва. Поэтому на каждом цикле нагружения происходит пластическая деформация, приводящая к росту усталостной трещины. При такой схеме нагружения полость под муфтой рассматривают как трещиноподобный концентратор напряжения с вершиной в корневом слое углового шва [6]. Второй фактор связан с технологией сварки. Чем больше радиус притупления в корне шва, тем концентрация напряжений в шве меньше и больше долговечность. Острота концентратора зависит от условий сборки и параметров режима сварки [5, 7]. Основными параметрами, определяющими условия формирования корня шва, являются условия подготовки кромок, вид разделки кромок и зазор между трубой и муфтой.

Особой зоной кольцевого сварного шва является участок напротив патрубка. Опыт эксплуатации разрезных тройников показывает, что их разрушение часто происходит на участке кольцевого шва напротив патрубка.

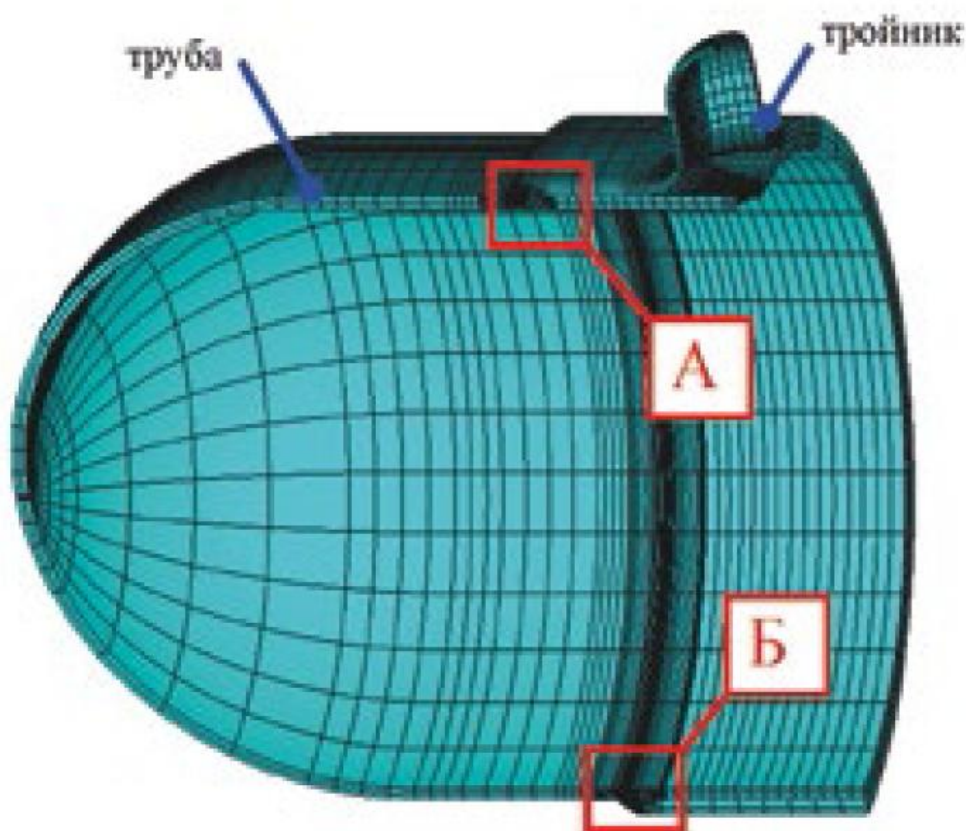
Вопросу повышения ресурса таких муфт посвящено множество работ [1–6]. Их анализ позволил выявить три направления укрепления кольцевого шва для увеличения срока службы ремонтных муфт:

- 1) увеличение сечения шва путем увеличения катетов;
- 2) укрепление ремонтной конструкций дополнительными бандажами. Бандаж уменьшает изгиб, вызванный попаданием жидкости под муфту [4];
- 3) замена нахлесточного соединения ремонтной конструкции с трубой на нахлесточно-стыковое или тавровое [2].

Тройники, как и гладкие муфты, присоединяются к трубе внахлестку угловым кольцевым швом и имеют близкие схемы нагружения. Основным источником нагрузки является внутреннее давление перекачиваемой жидкости. Причины низкого ресурса гладких муфт и способы их усиления подробно рассмотрены выше. Долговечность тройников существенно ниже, чем у аналогичных гладких муфт. Для выявления причин низкого ресурса и целенаправленного поиска эффективных способов его повышения был

проведен расчетный анализ напряженного состояния усиленных ремонтных конструкций с учетом влияния технологии сварки на ресурс соединения. Для моделирования методом конечных элементов был использован программный комплекс «Сварка» [28].

При построении использовали условия осевой симметрии, что позволило значительно сэкономить время расчета. Модель соответствует образцу для натурных испытаний при приемке новых конструкций тройников (перед вводом их в эксплуатацию) и представляет собой участок трубы с установленным на ней тройником. В расчетную модель вошла часть конструкции натурального образца, рисунок 1.20. Слабым местом у тройника, как и у простейшей гладкой муфты, является корень углового кольцевого шва. Характерные зоны анализа напряженного состояния в кольцевом шве тройника А и Б расположены рядом с патрубком и на противоположной стороне трубы. В этих зонах было создано измельчение сетки конечных элементов.



А и Б – характерные зоны анализа напряженного состояния
Рисунок 1.20 – Геометрическая модель разрезного тройника

На остальной части периметра шва напряжения принимают промежуточные значения.

Граничные условия для модели тройника показаны на рисунке 1.21.

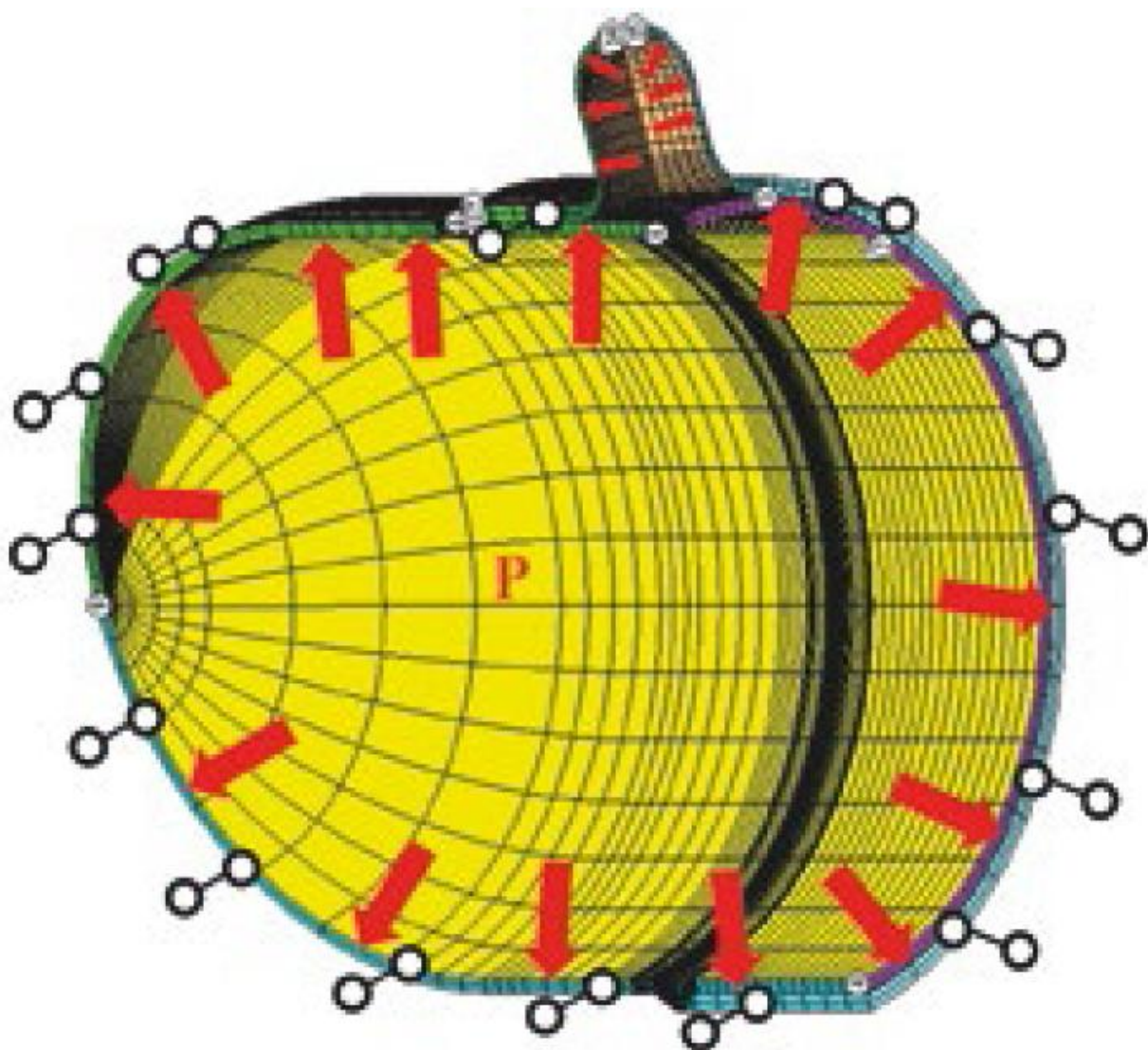


Рисунок 1.21 – Граничные условия

Симметрию обеспечивают дополнительные закрепления по нормали к плоскостям симметрии.

При сквозном дефекте в основной трубе под тройником внутреннее давление действует на все поверхности внутренней полости трубы и тройника.

Компьютерное моделирование напряженного состояния муфт методом конечных элементов позволило установить основные причины ограниченного ресурса разрезных тройников, а также предложить наиболее эффективные способы его повышения.

Характер НДС в кольцевом шве разрезных тройников в целом такой же, как у традиционных, ранее рассмотренных муфт. Но вокруг патрубка есть свои особенности. Имеет место, приблизительно трехкратная концентрация растягивающего напряжения $\sigma_{\text{прод}}$ вдоль образующей магистрали напротив патрубка.

Результаты расчетов позволяют сделать вывод о том, что основная составляющая нагрузки на тройник, в отличие от гладкой муфты, связана с растяжением вдоль магистрали тройника. Направление роста трещины перпендикулярно направлению действия компоненты максимального растягивающего напряжения. Дополнительное растяжение в зоне напротив патрубка приводит к повороту траектории роста усталостной трещины и разрушению поперек стенки разрезного тройника (не по минимальному сечению углового шва). Поэтому меры по увеличению минимального сечения шва, а также установка кольцевых бандажей не приводят к существенному повышению ресурса сварного соединения, рисунок 1.22.

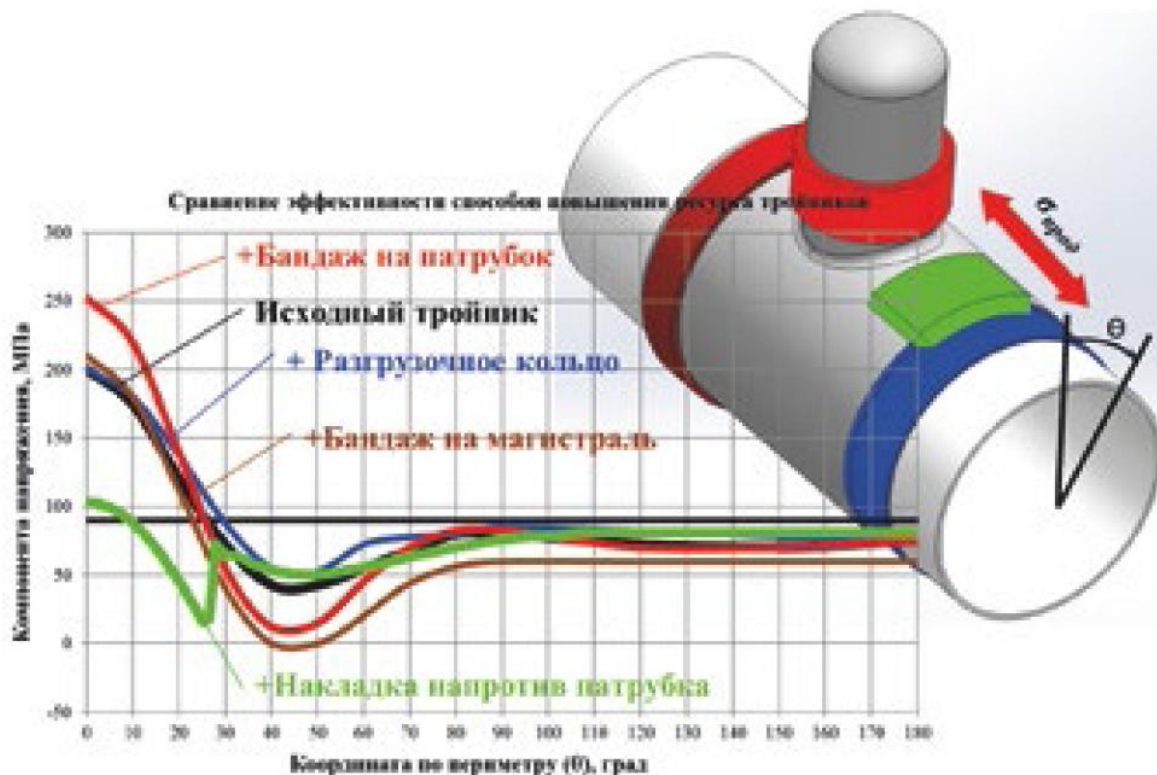


Рисунок 1.22 – Результаты анализа способов усиления

Обобщая, можно сказать, что наличие патрубка приводит к изменению характера нагружения углового шва, соединяющего магистраль тройника с трубой, по сравнению с характером нагружения гладкой муфты. Возникающая под действием высоких кольцевых напряжений дополнительная продольная утяжка участка магистрали тройника напротив патрубка приводит к дополнительной нагрузке на шов.

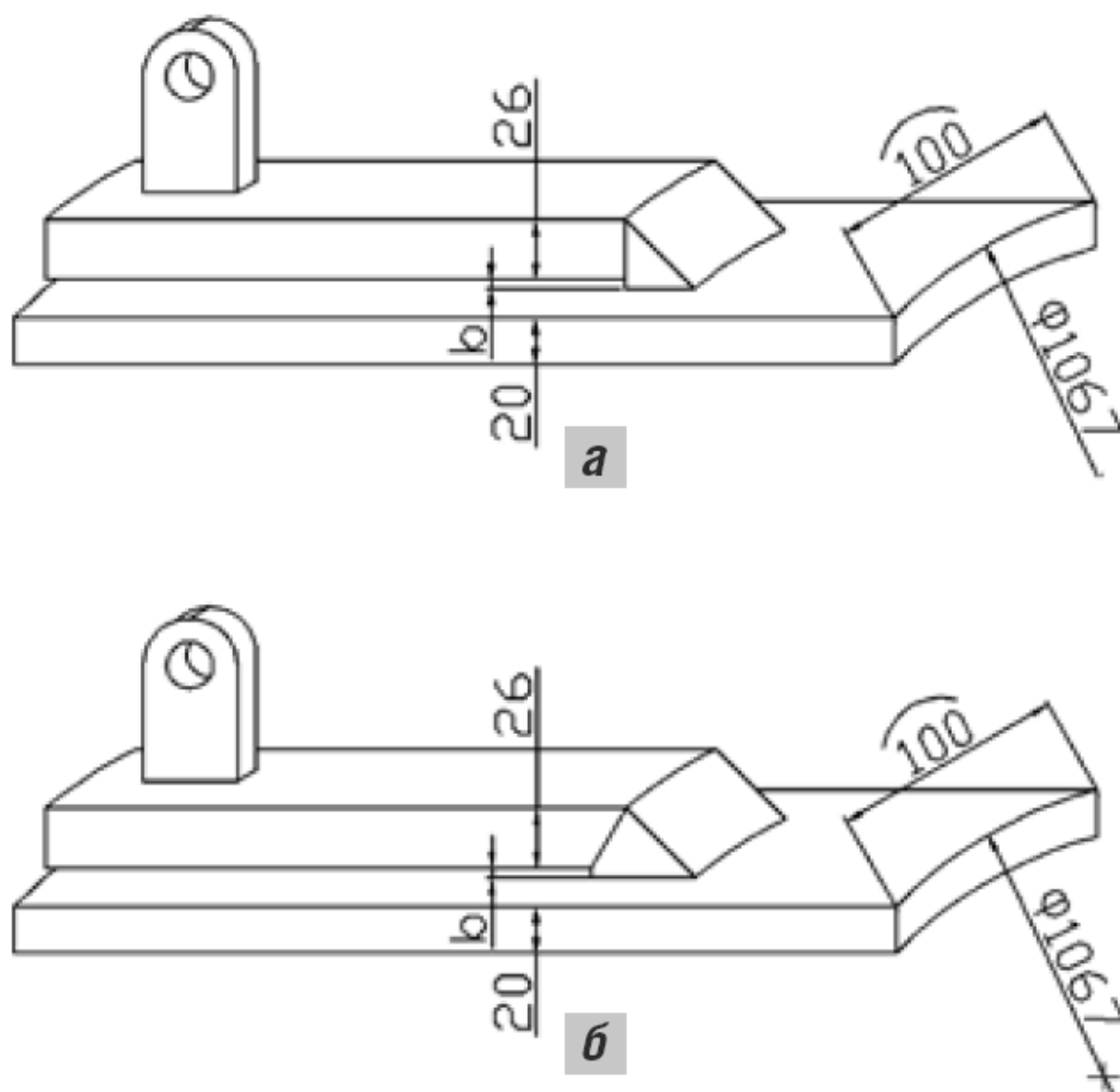
Еще один момент, экспериментальные исследования которого проводили, касается концентрации напряжений в муфте, вызванная характером деформирования нахлесточного сварного соединения (изгибом стенки трубы на выходе из муфты) и наличием конструктивного непровара. Острота концентратора в корне углового шва, присоединяющего муфту к трубе, является одним из важнейших факторов, влияющих на циклическую долговечность. Если ремонтируемый дефект является сквозным, то в зазоре между муфтой и трубой действует внутреннее давление, создающее дополнительное растяжение в корне шва.

Процессы при сварке и работе конструкции в зоне корня углового шва сложны. Для получения адекватных результатов в данном случае нужны экспериментальные исследования. Проводили экспериментальные исследования циклической долговечности сварного соединения в зависимости от зазора между трубой и муфтой.

Вместо натурных образцов выполняли испытания фрагмента сварного соединения, включающего короткий участок шва с прилежащими частями трубы и муфты, на внецентренное растяжение. Преимущество здесь в том, что легко задать любую ширину зазора между фрагментами трубы и муфты.

Для правильного выбора нагрузки, прикладываемой к образцу, проведено компьютерное моделирование для двух типов конструкций муфты: без скоса кромки и с обратным скосом кромки, рисунок 1.23. Обратный скос кромки позволяет увеличить минимальное сечение шва, что должно повысить ресурс сварного соединения без увеличения количества наплавляемого металла

[3]. Были изготовлены образцы шести типов с тремя различными значениями зазора b – 0, 4, 8 мм.



а) – без скоса кромок; б) со скосом кромок

Рисунок 1.23 – Лабораторные образцы разрезных муфт

Результаты испытаний показали, что при отсутствии скоса – усталостная прочность снижается. Кроме того, установлено, что большой зазор не уменьшает концентрацию напряжений. Дело в том, что в корне шва имеются участки с малым радиусом притупления. Возможны также небольшие непровары, которые трудно выявить неразрушающим контролем. Повышение усталостной прочности при росте зазора объясняется ростом минимально-

го сечения сварного шва. Следует отметить, что во всех случаях это сечение оставалось меньше толщины стенки муфты.

Поэтому при дальнейшем увеличении сечения шва можно ожидать разрушения по основному металлу муфты. Важным результатом работы является разработанная методика замены дорогостоящих и длительных натуральных гидроиспытаний, один цикл занимает 2 минуты. Недостатки этой методики - завышение прогнозируемого ресурса.

Установка ремонтной конструкции (муфты или тройника) — весьма эффективный и достаточно универсальный метод ремонта, позволяющий восстанавливать ресурс нефтепровода без вывода его из эксплуатации. Однако их конструкции и технологии монтажа нуждаются в совершенствовании.

Результаты анализа позволяют сделать вывод, что причины ограниченного ресурса ремонтных муфт - концентрация напряжений, которая вызвана особенностями конструкций, а также характером нагрузки. К особенностям конструкции относится наличие трещиноподобного непровара в корне углового шва. Из-за затрудненного доступа к корню кольцевого шва сложно обеспечить полное проплавление в монтажных условиях.

Также кольцевые угловые швы с трудом поддаются контролю, что увеличивает риск пропуска дефектов, в том числе, трещиноподобных. Особенность нагрузки заключается в повороте участка трубы относительно торца муфты, в результате которого в корне шва возникают дополнительные растягивающие напряжения. Разрезной тройник дополнительно ослаблен горловиной, которая вызывает дополнительную концентрацию напряжений. Для представления насколько сильно сказывается ослабление тройника горловиной показательно, что по нормативной документации ресурс разрезного тройника в 2 раза ниже ресурса сварной муфты.

1.3 Задачи работы

При разработке методики оценки эксплуатационных характеристик трубопроводов необходимо не забывать о том, что одним из актуальных

вопросов эффективного использования сварных муфт является оценка их совместной работы с дефектным участком трубопровода. Совместная работа обеспечивается в тех случаях, когда геометрия муфты совпадает с геометрией ремонтируемого участка трубы. Если это условие не выполняется, образуется зазор между стенкой трубопровода и муфтой, что снижает эффективность усиливающей конструкции. Понятное дело, до тех пор, пока между трубой и муфтой не возникнет постоянный плотный контакт, нагрузка от внутреннего давления в указанной области будет восприниматься только трубопроводом.

Например, если применяется конструкция типа «труба в трубе», то получается увеличенный межтрубный кольцевой зазор, потому что в качестве муфты применяется, как правило, труба следующего по диаметру типоразмера. Приходится заполнять зазор между трубами составом с низкой стоимостью достаточно высокой прочностью при сжатии и высоким модулем упругости. В ряде случаев в качестве межтрубного заполнителя используют цементно-песчаный раствор. Также известны способы ремонта с введением полимера в кольцевое пространство после установки наружной оболочки – муфты.

Однако применение твердеющих составов имеет такие недостатки как сложность монтажа муфты, особенно при отрицательных температурах, поскольку твердеющие составы обладают невысоким сроком службы. Кроме того, возможно разрушение твердеющих составов при монтаже муфты за счет действия тепла от сварки.

С другой стороны трубы, как и обечайки муфт, из которых они выполнены, имеют значительные отклонения по диаметру, овальности. Следствием этого является возникновение зазоров между трубой и муфтой, при использовании полумуфт приходится выполнять «по месту» подгонку полумуфт по окружности трубы. Это увеличивает трудоемкость ремонта.

Одним из вариантов здесь возможно измерение кривизны трубы в области дефекта и кривизны внутренней поверхности полумуфт и отмечать на полумуфте такую область, у которой кривизна меньше, чем кривизна дефектной области трубы. Именно так муфта устанавливается на трубопровод.

Отмеченная область совмещается с областью дефекта, при этом обеспечивается минимальный зазор.

Исходя из изложенного и сформулированной цели, в работе поставлены следующие основные задачи, последовательное выполнение которых позволит достичь сформулированной во Введении цели:

- подобрать оборудование для измерения геометрии труб;
- выбрать способ ремонта дефектного участка трубопровода
- выполнить анализ возможных вариантов повышения качества ремонта выбранным способом;
- определить необходимые исследования, требуемые для успешного для успешного внедрения способа в практику
- разработать методику проведения экспериментальных исследований;
- выполнить эксперименты и обработать их результаты;
- по результатам исследований выдать технологические рекомендации и внедрить их в практику.

.

.

2 Методика исследований

2.1 Выбор оборудования для измерения геометрии труб

Анализ конструктивных вариантов муфт, выполненный в первой главе настоящей работы, позволил установить, что наибольшее распространение получила стальная обжимная муфта. К преимуществам данного способа ремонта следует отнести отработанную технологию установки. При этом, эффективность ремонта дефектных труб подобным методом напрямую зависит от величины зазора между муфтой и трубой. Чем больше зазор – тем меньше эффективность. На величину зазора между муфтой и трубой наибольшим образом влияет геометрия как самой трубы, так и муфты.

В качестве рабочей гипотезы можно предложить следующий механизм взаимодействия трубы и муфты. В процессе нагружения трубы внутренним давлением диаметр трубы увеличивается вследствие появления упругих деформаций в стенке трубы. Если труба и муфта собраны без зазора, то муфта будет сдерживать развитие деформации стенки трубы, воспринимая на себя часть нагрузки от давления в трубе, уменьшая, тем самым, напряжения в стенке.

Геометрические параметры, являющиеся принципиальными по отношению к данному методу ремонта, могут быть названы следующие:

1. Внутренний диаметр труб в различных сечениях и окружных точках труб;
2. Толщина стенки трубы, нужна для определения внешнего диаметра;
3. Кривизна наружной и внутренней поверхности труб в разных точках.

Известно, что трубы не являются идеальными цилиндрами. Изготовить трубу правильной цилиндрической формы сложно технологически. Несовершенство цилиндрической поверхности труб следует учитывать на практике. Так могут возникнуть проблемы при стыковой сварке труб при строительстве трубопроводов, кроме этого снижается работоспособность труб с несовершенства формы [12].

Еще более важным является вопрос несовершенства геометрии трубы и муфты. От их геометрии зависит плотность сопряжения муфты с корпусом трубы. На муфтовую конструкцию передаются некоторое значение нагрузок, действующих на трубу. Чем большее значение нагрузки передается на муфту, тем меньше напряжения в дефектном месте и дольше обеспечивается работоспособность отремонтированного участка.

В случае заполнения зазора между сопрягаемыми поверхностями муфты и трубы твердеющим составом – компаундом, компаунд является переходным слоем, передающим деформацию от трубы к муфте. Но метод ремонта подобного рода конструкциями характеризуется сложностью монтажа муфты, особенно при отрицательных температурах, снижением срока службы ремонтной конструкции вследствие невысокого ресурса составов. Кроме того, при действии тепла при сварке возможна деструкция составов.

Еще одним моментом, который следует учитывать, является то, что на концах труб требования по цилиндричности жесткие, ведь трубы стыкуются при сварке, а тело трубы, при наружном диаметре 1420 мм – разница между максимальным диаметром и минимальным может составить 25 и более мм.

Таким образом, если измерить кривизну поверхности муфты и ремонтируемого участка трубы, и совместить их таким образом, чтобы зазор был минимален, муфта начнет включаться в работу раньше.

В качестве параметров, характеризующих геометрию ремонтируемой трубы и муфты примем:

1. Внутренний диаметр, измеренный в разных сечениях
2. Толщина стенки трубы, которая нужна для вычисления внешнего диаметра;
3. Кривизна наружной поверхности трубы в различных сечениях и окружных точках;
4. Кривизну внутренней поверхности в контрольных точках;
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.

Для измерения перечисленных геометрических параметров выбрано следующее оборудование. Измерять диаметры труб до 1220 мм при помощи нутромера НМ50-1300 фирмы «Etalon». Диапазон измерений от 50 до 1300 мм, цена деления 0,01 мм. Нутромер показан на рисунке 2.1 и представляет собой набор штанг с резьбами фиксированной длины и измерительное устройство, по конструкции аналогичное микрометру.



Рисунок 2.1 – Нутромер НМ50-1300

Момент измерения нутромером НМ50-1300 показан на рисунке 2.2.

Для измерения такого параметра, как толщина стенки труб предложено применить ультразвуковой толщиномер Булат-1М, рисунок 2.3. Погрешность толщиномера для толщины стенки трубы 16,8 мм – не более 0,218 мм.

Для измерения кривизны применен прибор, конструкция которого приведена на схеме, рисунок 2.4.



Рисунок 2.2 - Выполнение измерений нутромером НМ50-1300



Рисунок 2.3 – Ультразвуковой толщиномер.

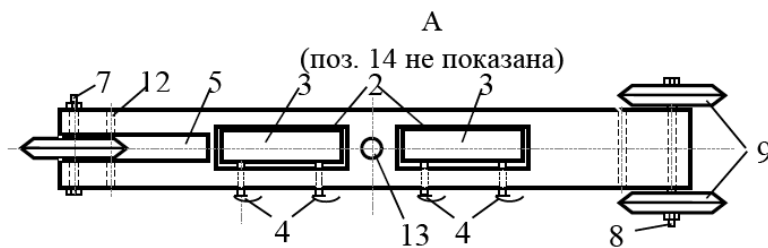
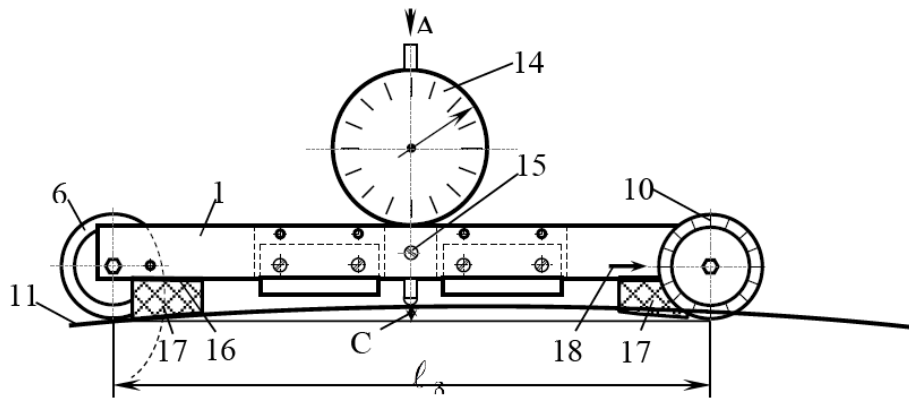


Рисунок 2.4 – Прибор для измерения кривизны.

Принцип действия прибора измерения кривизны заключен в следующем. Прибор устанавливают на трубу 11, постоянные магниты 3 обеспечивают прижатие роликов 9 и фрикционных элементов 17. Устанавливают и фиксируют стопорным винтом 15 измерительное устройство 14. Затем прибор перемещается по поверхности трубы, по радиусу, и через фиксированные положения определяется показание измерительного устройства 14.

По аналогичной методике оценивалась геометрия муфт. В данном случае – полумуфт.

Для повышения точности измерений на внутренней поверхности муфт наносили кольцевую разметку. Измерения выполняли в трех плоскостях полумуфт. В каждой плоскости было 12 контрольных точек (рисунок 2.5).

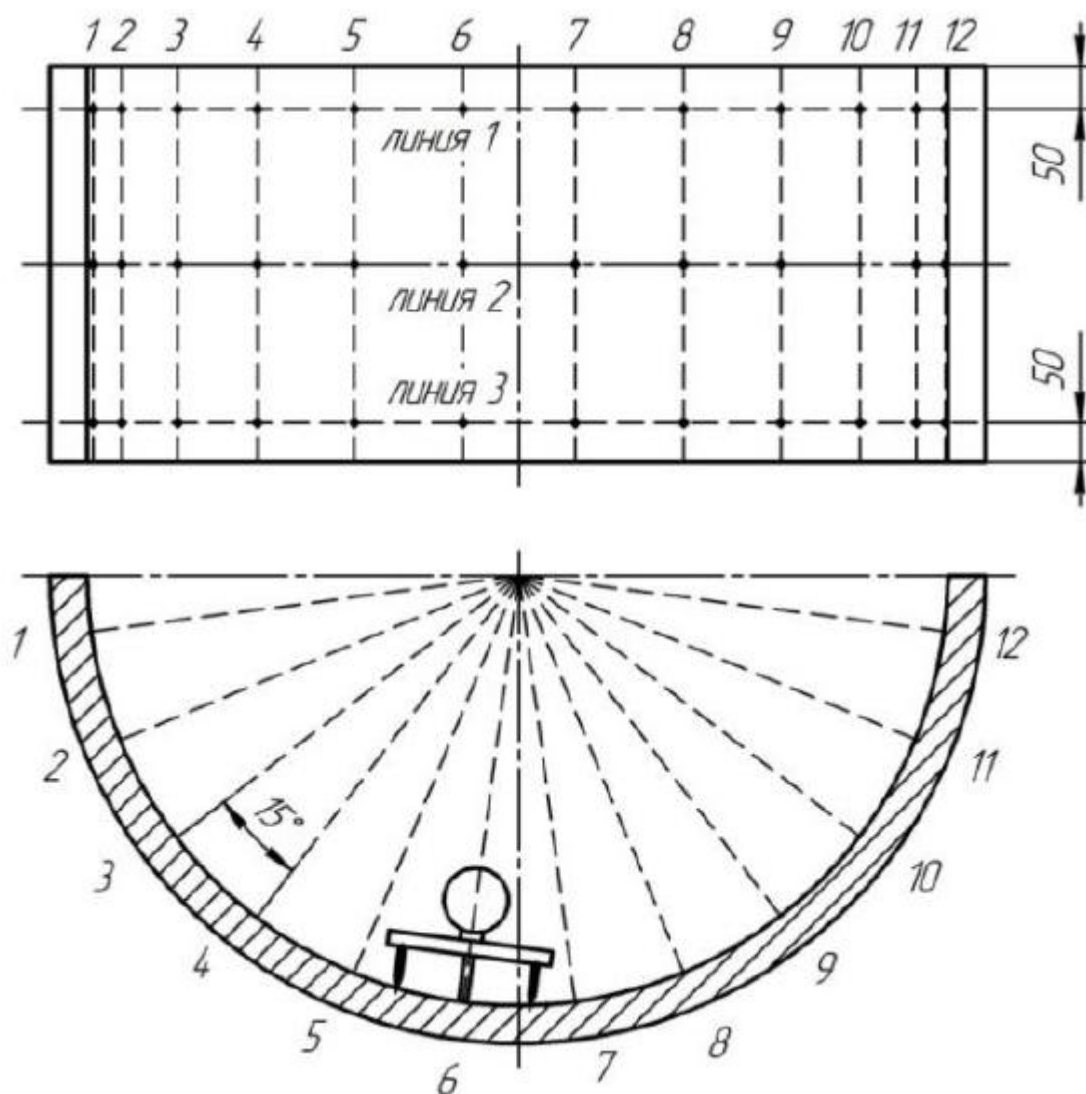


Рисунок 2.5 – Схема выполнения измерений.

2.2 Методика проведения исследований

Исследования проводить на прямошовных трубах, вырезанных из магистрального газопровода при капитальном ремонте по причине наличия недопустимых дефектов. На складах предприятия скопилось достаточное количество таких труб. Таким образом затраты на проведение экспериментальных исследований будут минимизированы. Трубу ставить на две опоры. На внутреннюю и внешнюю поверхность наносить координатную сетку: с шагом в 1 метр – круговые линии; на каждой круговой линии 20 контрольных точек.

Первая контрольная точка для наружной поверхности ставится на вершине продольного шва, диаметр делится на 20 и таким шагом ставятся остальные точки. Для внутренней поверхности в корне продольного шва.

Текущее значение радиуса кривизны поверхности r в каждой контрольной точке определять по формуле:

$$r = \frac{l^2}{8C} + 0,5C,$$

где $C=A-A_0$ – разность показаний измерительного преобразователя, в качестве которого применяется индикатор часового типа, мм;

A, A_0 – показания измерительного преобразователя на трубе в точке измерения и на горизонтальной поверхности, мм.

Полученные значения на трубах и муфтах использовать для определения величин зазора между трубой и муфтой.

Затем выполнить исследования трубопровода с установленными муфтами.

На участках трубопровода приваривать муфты, таким образом, чтобы был обеспечен минимальный зазор между ремонтной муфтой и трубопроводом, максимальный зазор и среднее значение зазора, рисунок 2.5.

Приварить торцевые заглушки, разместить на раме, рисунок 2.6. Одна торцевая заглушка должна предусматривать возможность подключения манометра 6, в другой должен быть штуцер для шланга от насоса 2.

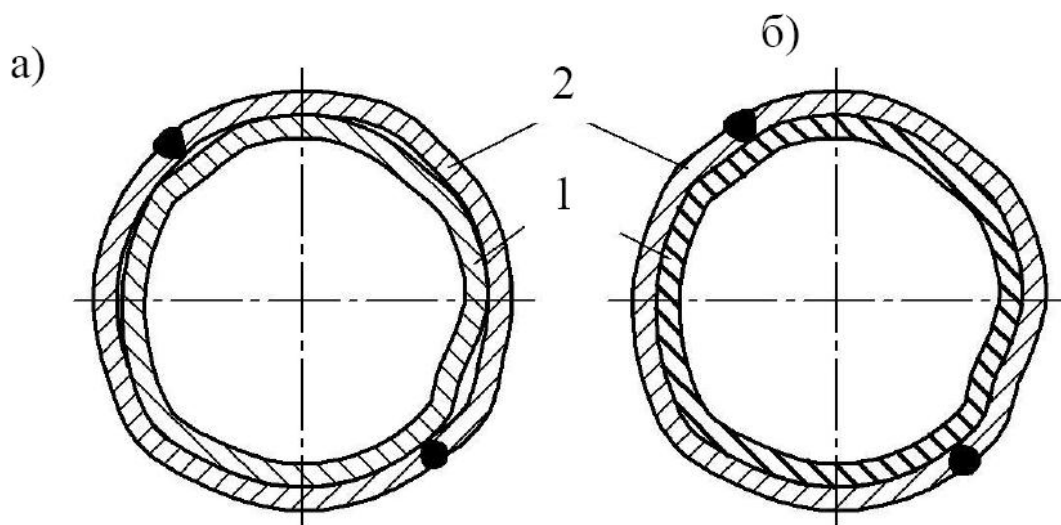
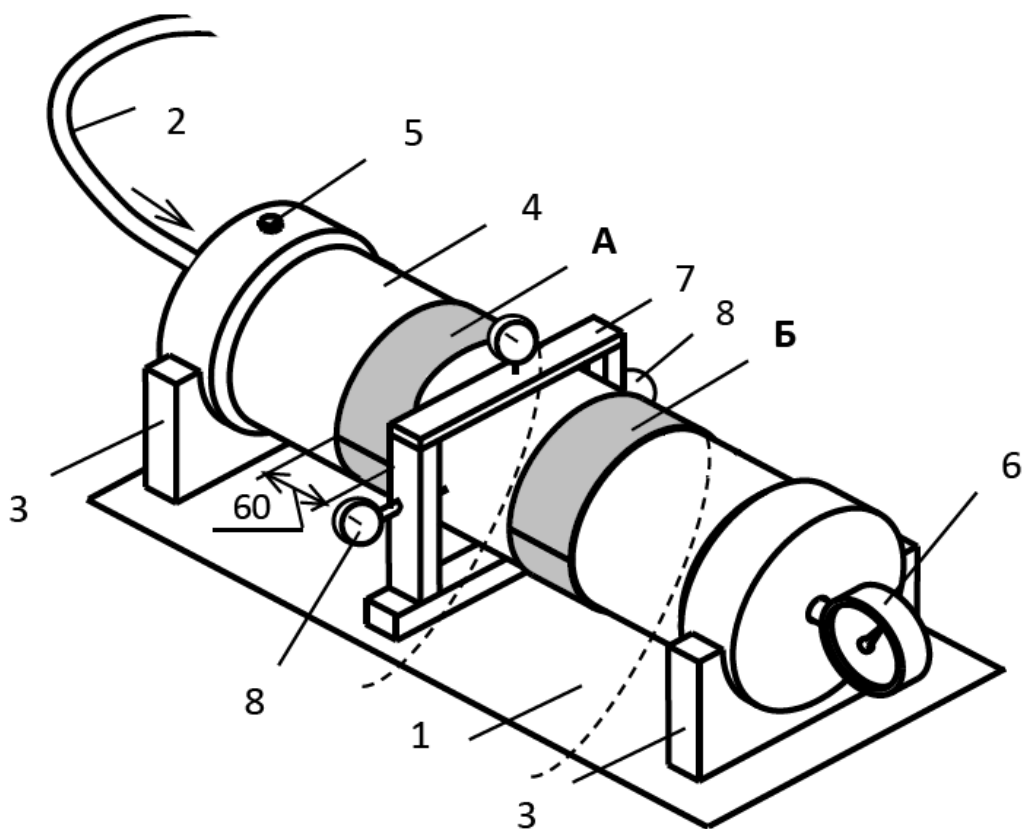


Рисунок 2.5 – а – муфта, установленная произвольно, б – муфта установлена с выбором оптимального положения – минимальный зазор.



1 – опора; 2 нагнетательная линия; 3 – ложемент; 4 – труба; 5 – пробка;
6 – манометр; 7 – рама; 8 – индикаторы часового типа.

Рисунок 2.6 – Схема испытаний



Рисунок 2.7 – Труба диаметром 1420 мм установленная на стенд

Измерение деформаций муфты производится индикаторами часового типа 8. После того, как индикаторы выставлены на «0», с шагом в 0,5 МПа, повышать давление в трубе до 6,5 МПа, фиксируя после каждого шага показания индикаторов.

Для показаний индикаторов считать среднеквадратичное отклонение по формуле:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (w_i - w_{i_{расч}})^2}$$

где w_i , $w_{i_{расч}}$ – фактическое радиальное перемещение стенки муфты и расчетное значение на i -том шаге нагружения, соответственно, мм

По результатам обработки показаний стрелочных индикаторов можно будет сделать вывод, насколько зазор оказывает влияние на восприятие усилий от давления.

3 Результаты исследований

3.1 Результаты исследований геометрии труб.

Результаты исследований кривизны труб диаметром 1420 мм представлены на рисунке 3.1. Всего было выполнено измерений на 28 трубах. Представлены измерения внутреннего диаметра. Измерения наружного радиуса кривизны представлены на рисунке 3.2.



Рисунок 3.1 – Отклонения внутренних диаметров от номинального значения.

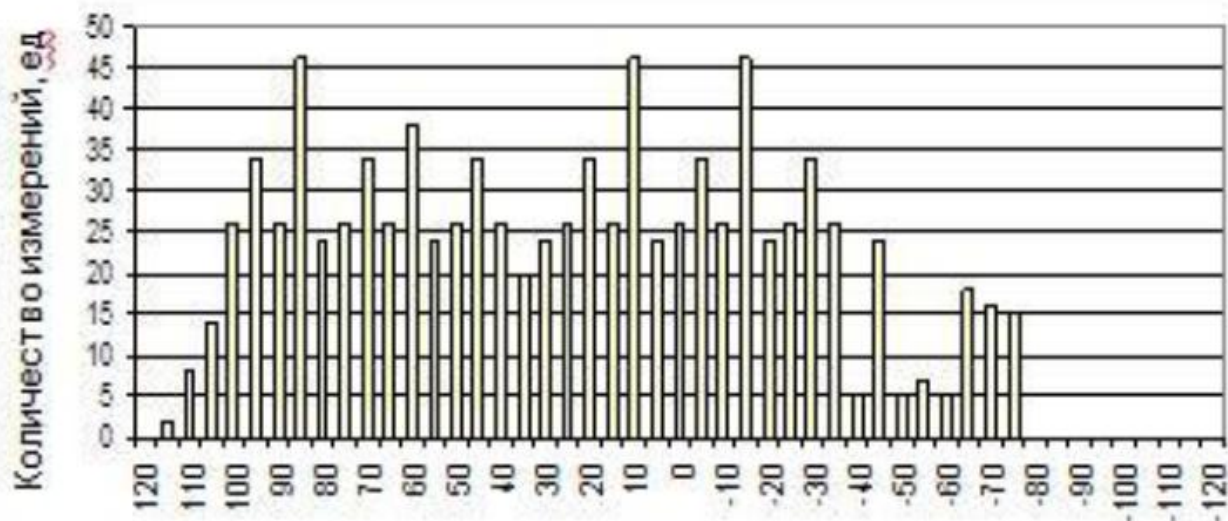


Рисунок 3.2 – Отклонения радиусов кривизны от наружной поверхности от номинального значения.

По результатам выполненных измерений можно сделать вывод, что максимальное значение отклонение внутреннего диаметра труб диаметром 1420 мм от номинального значения достигает – 1,07 %, максимальное значение отклонения радиуса кривизны труб диаметром 1420 от номинального значения достигает 8 %. Хотя подобные отклонения допускаются техническими условиями на трубы, но при ремонте обжимными муфтами они не обеспечат должной степени восприятия нагрузки корпусом муфты.

3.2 Определение зазора между трубой и муфтой.

Расчетное значение размера радиального зазора Δr_{ipq} в районе i -й точки полумуфты при заданных p и q определяется по следующей зависимости:

$$\Delta r_{ipq} = r_{mi} r_{m+1} - \rho_{ip} \varphi_{qp} \frac{c_2 - c_1}{\sqrt{1 + c_1^2} \sqrt{1 + c_2^2}} \quad (3.1)$$

В данной формуле c_1 и c_2 определяются следующим образом.

$$c_1 = \frac{y_{m+1}}{x_{m+1}} \quad (3.2)$$

$$c_2 = \frac{y'_{mi} - y'_{mp}}{x'_{mi} - x'_{mp}} \quad (3.3)$$

Иллюстрация к выполнению приведенных расчетов показана на рисунке 3.3.

где y'_{mi} – текущая координата y точки m ;

x'_{mi} – текущая координата x точки m ;

y'_{mi+1} – приращение координаты y ;

x'_{mi+1} – приращение координаты x .

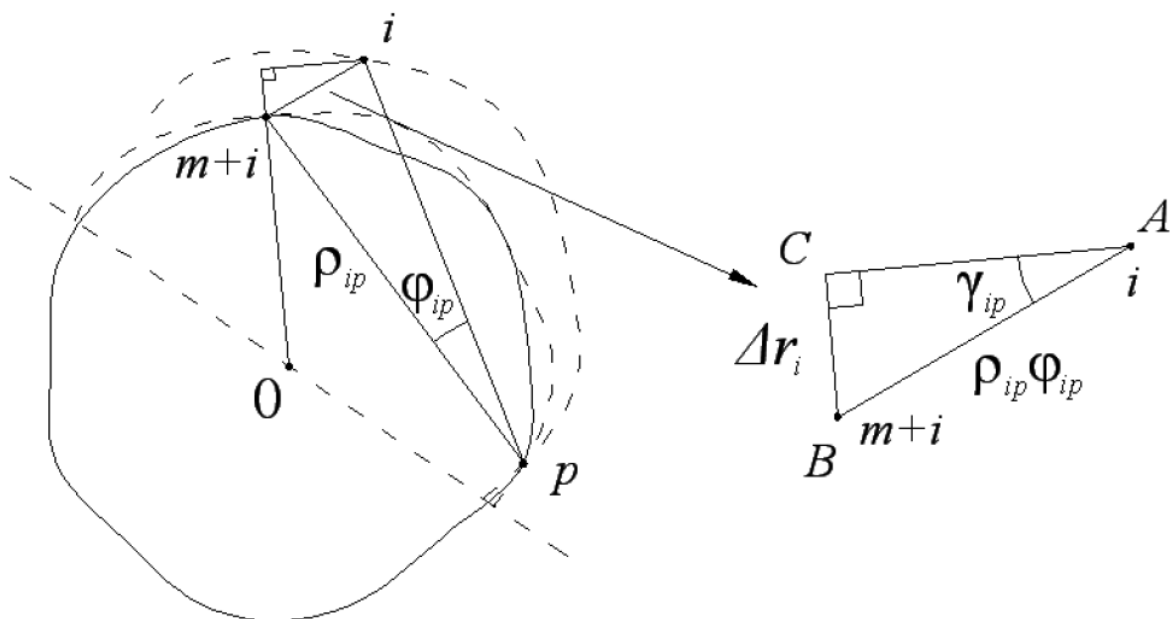


Рисунок 3.3 – Схема определения зависимости между расстоянием между полумуфтой и трубой в точке I при повороте относительно точки p на угол φ

При малых значениях углов поворота φ_{ip} длину отрезка AB , соединяющего положения i -й точки полумуфты до и после поворота, можно вычислить как произведение угла поворота φ_{ip} на радиус окружности ρ_{ip} .

Длину отрезка BC , представляющего собой проекцию отрезка AB на прямую, проходящую через начало координат и точку (x_{mm+i}, y_{mm+i}) , можно считать равной изменению расстояния между трубой и полумуфтой в районе i -ой точки полумуфты Δr_i , которое происходит при повороте полумуфты на угол φ_{ip} .

3.3 Результаты определения деформаций муфт, установленных с различными значениями зазоров

Ранее было доказано, что при наличии зазора между трубой и муфтой работа отремонтированного муфтой участка при увеличении давления характеризуется двумя этапами. На первом этапе избыточное давление в трубопроводе воспринимается только трубой, муфта давление не

воспринимает. На втором этапе труба и муфта воспринимают избыточное давление в трубопроводе одновременно.

Для определения расчетного давления закрытия зазора можно воспользоваться зависимостью [26].

$$P_{\Delta} = \frac{4\Delta \cdot \delta_T \cdot E}{(1-\mu^2) \cdot D_H \cdot (D_H - 2\delta_T)} \quad (3.4)$$

где Δ – величина зазора:

δ - толщина стенки трубы;

E - модуль упругости материала трубы;

μ - коэффициент Пуассона;

D - наружный диаметр трубы.

В момент закрытия зазора максимальные кольцевые напряжения могут определяться по следующей расчетной зависимости

$$\sigma_{\max} = \frac{2\Delta \cdot E}{(1-\mu^2) \cdot D_H} \quad (3.5)$$

После закрытия зазора величина напряжений в трубе может быть определена по следующей расчетной зависимости

$$\sigma_{\text{ТР}} = \sigma_{\max} + \frac{(P - P_{\Delta}) \cdot D_H}{2(\delta - \delta_M)} \quad (3.6)$$

Величина напряжений в муфте после закрытия зазора рассчитывается по следующей зависимости

$$\sigma_M = \frac{(P - P_{\Delta}) \cdot D_H}{2(\delta - \delta_M)} \quad (3.7)$$

Усиливающий коэффициент муфты определяется согласно коэффициенту усиления, определяемому по следующей зависимости:

$$k_{\text{УС}} = \frac{P}{P - P_K} \quad (3.8)$$

где $k_{\text{УС}}$ - коэффициент усиления;

P – давление внутри трубы;

P_K - размер контактного давления между трубой и муфтой.

Если принять допущение, что зазор между трубой и усиливающей муфтой отсутствует, теоретический, максимально возможный коэффициент усиления может быть определен по зависимости:

$$k_{ycmax} = \frac{\delta_T + \delta_M}{\delta_T} \quad (3.9)$$

где δ_T - толщина стенки трубы;

δ_M - толщина стенки муфты.

Для рассматриваемого трубопровода диаметром 1420 мм и с толщиной стенки 14 мм выполненные по приведенным зависимостям расчеты показали следующие результаты, таблица 3.1. Величина максимального внутреннего давления при расчетах по приведенным зависимостям принималась 8 МПа.

Таблица 3.1 – Эксплуатационные параметры трубопровода усиленного муфтой

Зазор,	Давление закрытия зазора	Максимальные напряжения в усиленном трубопроводе	Коэффициент усиления муфты
0	0	141	2
0,1	1,25	167	1,69
0,2	2,51	188	1,5
0,3	3,76	210	1,35
0,4	5,01	232	1,22
0,5	6,26	253	1,12
0,63	8,00	283	1,00

Анализ полученных расчетных результатов показывает, что в случае зазора 0,63 мм давление закрытия зазора равно рабочему давлению, следовательно, муфта не воспринимает нагрузку от трубопровода и не выполняет усиливающей функции при ремонте

Для муфты, установленной с оптимизацией положения значения перемещений, в зависимости от давления жидкости, показаны на рисунке 3.4. На рисунке обозначены: 1 – расчетная идеализированная зависимость; 2,3,4 – измеренные значения радиального перемещения муфты, соответственно, на 12, 3 и 9 час в почасовой ориентации модели; - точка излома графика

Радиальное перемещение муфты, мм

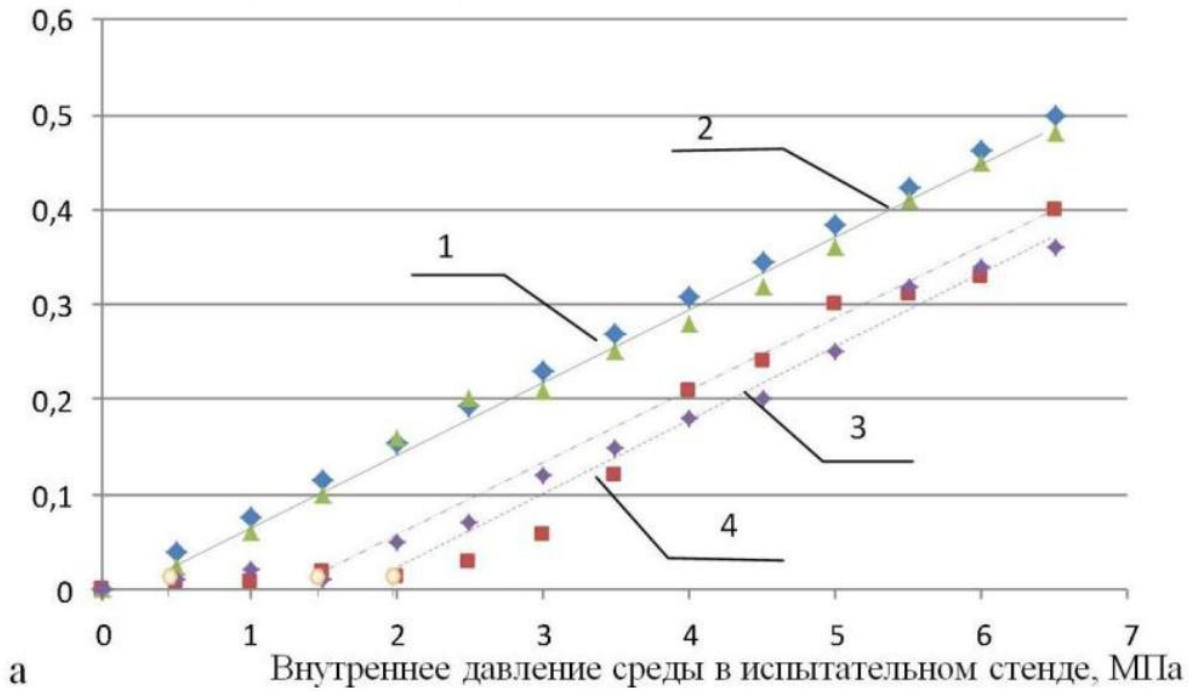


Рисунок 3.4 –Зависимость перемещения поверхности муфты от давления.

Для муфты, установленной произвольно значения перемещений, в зависимости от давления жидкости, показаны на рисунке 3.5.

Радиальное перемещение муфты, мм

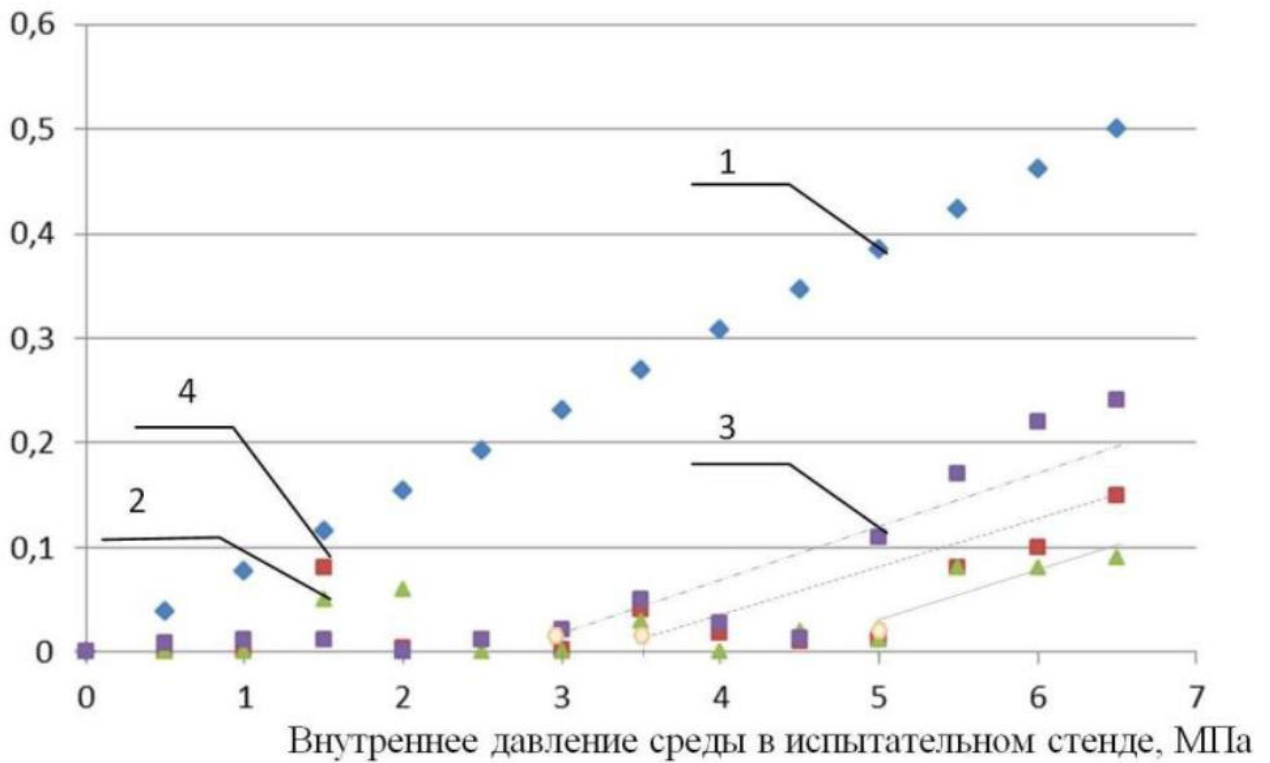


Рисунок 3.5 –Зависимость перемещения поверхности муфты от давления.

Анализ данных графиков показывает, что муфта, установленная по разработанной методике начинает работать уже при давлении 1-2 МПа в трубе.

В то же время установленная произвольно муфта начинает воспринимать давление, включается в работу, при давлении 3-4 МПа.

4 Технологические рекомендации ремонтным службам

Для установки муфты с обеспечением минимального зазора следует принять во внимание следующие допущения:

1. Эффективность работы муфты тем больше, чем меньше зазор между трубой и муфтой;
2. Эффективность работы муфты тем больше, чем меньше зазор между трубой и муфтой в районе дефекта;
3. Края (места сварки) полумуфт должны быть расположены на определенном расстоянии от дефекта;

Для определения положения муфты с минимальным дефектов следует пользоваться формулой . Однако расчеты по данной формуле утомительны и длинны. В придачу еще необходимо нанести сетку на полумуфты и трубы и выполнить преизрядное количество измерений.

Поэтому логичным шагом является разработка программного комплекса, обеспечивающего расчеты.

Такое программное обеспечение следует разрабатывать исходя из следующих исходных данных.

Имеется база данных по муфтам, заранее подготовленным и измеренным, из этой базы программа выбирает муфты, обеспечивающие минимальный размер зазора. Каждая муфта состоит из полумуфт. Соединение полумуфт между собой возможно в любом сочетании.

С учетом изложенного программа выполняет следующие вычисления – выбирает из базы муфт и определяет угловое положения муфты, при котором обеспечивается минимальный зазор.

Исходными данными для расчетов служат:

1. Наружный диаметр трубопровода.
2. Значения радиусов кривизны наружной поверхности трубопровода в точках, равномерно распределенных по окружности трубопровода (рассматривается поперечное сечение трубопровода в районе ремонтируемого дефекта).

3. Данные об имеющихся в наличии полумуфтах. Для каждой полумуфты задается условное наименование и значения радиусов кривизны внутренней поверхности в точках, расположенных на окружности полумуфты с тем же шагом (по угловой координате или по длине дуги), что и на поверхности трубопровода.

4. Данные о дефекте: угловое положение дефекта, минимально допустимое угловое отклонение дефекта от краев полумуфт, угловое отклонение от дефекта до края области, в которой производится расчет параметров в районе дефекта.

Предусмотрено два независимых варианта расчетов:

1. Оптимизация положения муфты путем сравнения радиусов кривизны наружной поверхности трубопровода и внутренней поверхности муфты.

2. Оптимизация положения муфты путем определения зазора между наружной поверхностью трубопровода и внутренней поверхностью муфты.

Анализ результатов показывает, что с использованием программы удалось подобрать полумуфты таким образом, что величина зазора составляет 0,01 - 0,04 мм.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам исследований показано, что диаметр труб и их профиль имеют значительное отклонение от номинальных значений. При этом при стандартных технологиях ремонта муфтами при взаимном неблагоприятном расположении муфты и трубы величина зазора может достигать 25 мм.

Проведенные измерения показали, при произвольной ориентации муфты и трубы муфта включается в работу после достижения давления 3-4 МПа, при обеспечении минимального зазора включается в работу при давлении 1-2 МПа.

Разработанный по результатам исследований способ предусматривает наличие на складе муфт с измеренной геометрией, и после измерения геометрии ремонтируемой трубы, с применением программы, выбирается нужная муфта и определяется ее ориентация относительно базы при ремонте.

Цель достигнута.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Ахтимиров, Н.Д. Техничко-экономическое обоснование применения конструкции «труба в трубе» при строительстве и ремонте линейной части магистральных трубопроводов / Н.Д. Ахтимиров, В.Н. Лисин, В.М. Шарыгин // М. : ВНИИЭгазпром. – 1989, вып. 10.
2. ВСН 39-1.10-001-99. Инструкция по ремонту дефектных труб магистральных газопроводов полимерными композиционными материалами. – Введ. 05.03.2000. – М.: ИРЦ «Газпром», 2000.
3. Газпром. Инструкция по оценке дефектов труб и соединительных деталей при ремонте и диагностировании магистральных газопроводов. Введ. 01.02.2009. – М. : ОАО Газпром, 2009. – 110 с.
4. Гончаров, Н.Г. Ремонт дефектов подводных участков трубопроводов композитными муфтами / Н.Г. Гончаров, Е.В. Лопатин, И.А. Другова и др. // Трубопроводный транспорт. – 2005. – № 2. – С.53–58.
5. Дорофеев, М.С. Ремонтная муфта с упругим слоем / М.С. Дорофеев // Изв. вузов. Нефть и газ. – 2001. – №2. – С. 66–73.
6. Ермаков, А.А. Перспективный метод ремонта трубопроводов / А.А. Ермаков, Б.А. Клюк, В.Г. Поляков, А.С. Диденко // Газовая промышленность. – 1989. – №3. С. 45–47.
7. Ермаков, А.А. Ремонт дефектов труб с использованием бандажа / А.А. Ермаков, Б.А. Клюк, В.Г. Поляков, М.М. Окрочедлов // Газовая промышленность. – 1989. – №8. С.58–61.
8. Иванова, Е.Ю. Влияние углов поворота муфт на напряженное состояние восстановленного участка трубопровода / Е.Ю. Иванова // Фундаментальные исследования. – 2015. – № 12–1. – С. 43–47.
9. Куркин, А.С. Программный комплекс «Сварка» — инструмент для решения практических задач сварочного производства / А.С. Куркин, Э.Л. Макаров // Сварка и диагностика, 2010. № 1. С. 16–24.

10. Метод локального ремонта трубопроводов с использованием разъемных муфт, заполняемых эпоксидными смолами // Pipeline and Gas Industry.1997 Месяц Oct. Том 80, № 8, С.47-51 // Зарубежная информация. Инф.-аналит. сб. – М.: ИРЦ Газпром, 1998. – № 3.
11. Куркин, А.С. Анализ причин ограниченного ресурса конструкций для ремонта нефтепровода / А.С. Куркин, С.А. Королев, П.А. Пономарев // Сварка и диагностика. 2014. №5. С. 58–61.
12. Попков, А.С. Мировые тенденции развития муфтовых технологий ремонта трубопроводов / Попков А.С., Шарыгин В.М. // Аналитик. – 2009. – Сб. научн.-техн. обзоров. – М.: Газпром ВНИИГАЗ, 2010. – С. 27-66.
13. Вышемирский, Е. М. Состояние и основные направления развития сварочного производства ОАО «Газпром» / Е.М. Вышемирский // Сварка и Диагностика. 2009. № 1. С. 16 – 19.
14. Прилуцкий, М. А. Методы определения напряженно-деформированного состояния сварных металлоконструкций (обзор) / М.А. Прилуцкий // Сварка и Диагностика. 2007. № 1. С. 17 - 21.
15. РД 153-39.4-067-00. Методы ремонта дефектных участков действующих магистральных нефтепроводов / ОАО АК «Транснефть». М: – 2001. – 45 с.
16. РД 23.040.00-КТН-090-07: Классификация дефектов и методы ремонта дефектов и дефектных секций действующих магистральных нефтепроводов.
17. РД 25.160.10-КТН-016-15. Неразрушающий контроль сварных соединений при строительстве и ремонте магистральных трубопроводов. ОАО «АК «Транснефть» 06.04.2015.
18. РД-23.040.00-КТН-140-11 Методы ремонта дефектов и дефектных секций действующих магистральных нефтепроводов и нефтепродуктопроводов.
19. Степнов, М. Н. Статистические методы обработки результатов механических испытаний : справочник / М. Н.Степнов. М. : Машиностроение, 1985.- 231 с.
20. Тихонов, А. Н. Статистическая обработка результатов экспериментов / А. Н. Тихонов, М. В. Уфимцев. М. : Изд-во МГУ, 1988. - 174 с.

21. Алешин, Н.П. Физические методы неразрушающего контроля сварных соединений / Н.П. Алешин. - М.: Машиностроение, 2006. - 368 с.
22. Алешин, Н.П. Контроль качества сварочных работ / Н.П. Алешин, В.Г. Щербинский В.Г. - М.: Высшая школа, 1986. - 167 с.
23. Чабуркин, В.Ф. Оценка опасности дефектов сварных соединений при диагностике газонефтепроводов / В.Ф. Чабуркин, В.А. Канайкин // Сварочное производство. 2000. №9. С. 41-44.
24. Халилеев, П.А. О современном состоянии контроля надёжности магистральных трубопроводов / П.А. Халилеев, Б.В. Патраманский, В.Е. Лоскутов и др. // Дефектоскопия. 2000. № 1.С. 3-17.
25. Матвеев, Ю.М. Теоретические основы производства сварных труб / Ю.М. Матвеев. - М.: Металлургия, 1967. - 169 с.
26. Щербинский, В.Г., Алешин Н.П. Ультразвуковой контроль сварных соединений / В.Г. Щербинский, Н.П. Алешин. - М.: изд. МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2000. - 496 с.
27. Троицкий, В.А. Краткое пособие по контролю качества сварных соединений / В.А. Троицкий. ИЭС им. Е.О. Патона НАЛ Украины. - 1997. - 224 с.
28. Рахимов, В.Ф. О влиянии шероховатости контактных поверхностей на прохождение ультразвуковых колебаний / В.Ф. Рахимов //Дефектоскопия. 1988. № 11. С. 50 - 56.
29. Кирияков, В.Ф. О применении пьезопреобразователя с наклонным дном иммерсионной камеры / В.Ф. Кирияков // Дефектоскопия. 1976. № 4. С. 96 - 104.
30. Гуревич, А.К. Ультразвуковая дефектоскопия сварных соединений / А.К. Гуревич. - Киев: Укртехиздат, 1963. - 152 с.
31. Бирилло, И.Н. Оценка прочностного ресурса газопроводных труб с коррозионными повреждениями / И.Н. Бирилло, А.Я. Яковлев, Ю.А. Теплинский и др. – М. : ЦентрЛитНефтеГаз, 2008. – 168 с.

32. Гумеров, А.Г. Дефектность труб нефтепроводов и методы их ремонта / А.Г. Гумеров, К.М. Ямалеев, Р.С. Гумеров. – М.: Недра-Бизнесцентр, 1998. – 253 с.
33. Бирилло, И.Н. Расчетная оценка напряженно-деформированного состояния системы «труба-муфта» / И.Н. Бирилло, Ю.В. Александров, А.С. Попков // Наука в нефтяной и газовой промышленности. – 2010. - №4. – С. 2-6.
34. Попков, А.С. Расчетная оценка силовой эффективности ремонта дефектных участков газопроводов стальными сварными муфтами / А.С. Попков, В.М. Шарыгин // Сборник научных трудов: Материалы 3-й международной научно-технической конференции «Актуальные проблемы трубопроводного транспорта Западной Сибири (28 мая 2009 г.) под общей ред. профессора, д.т.н Земенкова Ю.Д. – Тюмень: «Экспресс» 2009. – С. 86-88.
35. Попков, А.С. Мировые тенденции развития муфтовых технологий ремонта трубопроводов / Попков А.С., Шарыгин В.М. // Аналитик. – 2009. – Сб. научн.-техн. обзоров. – М.: Газпром ВНИИГАЗ, 2010. – С. 27-66.
36. Александров, Ю.В. Опытнo-расчетная апробация ремонта магистральных газопроводов стальными сварными муфтами / Ю.В. Александров, А.М. Шарыгин, А.С. Попков // Газовая промышленность. – 2009. - № 12. - С. 44-47.
37. Александров, Ю.В. Анализ силового взаимодействия стальных муфтовых конструкций с ремонтируемым участком трубопровода / Ю.В. Александров, В.М. Шарыгин, А.С. Попков // Газовая промышленность. – 2010. - № 12. - С. 54-57.
38. Пронин, А.И. Анализ влияния дефектов в объеме сварного шва на прочность стыка трубопровода / А.И. Пронин, И.Н. Андронов, Н.П. Богданов, С.С. Гаврюшин // Нефть, газ, бизнес. 2009. № 7-8. – С. 56-60.
39. Лукьянов, В.Ф. Ремонт конструкций и восстановления деталей сваркой и наплавкой: учеб. пособие / В.Ф. Лукьянов, Ю.Г. Людмирский, Н.Г. Дюргеров. Ростов н/Д: Издательский центр ДГТУ, 2011. 220 с.
40. Bruce, W.A., Amend W.E. Advantages of Steel Sleeves over Composite / W.A. Bruce, W.E. Amend. Materials for Pipeline Repair, Evaluation, Rehabilitation &

Repair of Pipelines, Clarion Technical Conferences and Tiratsoo Technical. Berlin. October 20–21, 2010.

41. Петров, С.В. Оценка изменений механических характеристик металла длительно эксплуатируемых трубопроводов, работающих в различных условиях прокладки / С.В. Петров, А.В. Комаров, А.С. Кузьбожев // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. – 2009. – № 5. – С. 34–39.
42. Куркин, А.С, Особенности ремонтных конструкций и технологий их сварки при ремонте магистральных трубопроводов без замены трубы / А.С. Куркин, В.В. Бровко, П.А. Пономарев // Журнал нефтегазового строительства. 2015. № 1. С. 40–43.
43. Адиев, Р.К. Повышение несущей способности ремонтных муфт металлическими бандажами / Р.К. Адиев // Техническая диагностика и ресурс. Матер. Конгресса нефтегазопромышленников России. Уфа: ТрансТЭК, 2001. С. 7–11.
44. Лукьянов В.Ф. Ремонт конструкций и восстановления деталей сваркой и наплавкой: учеб. пособие / В.Ф. Лукьянов, Ю.Г. Людмирский, Н.Г. Дюргеров. Ростов н/Д: Издательский центр ДГТУ, 2011. 220 с.
45. Вышемирский, Е.М. Сварочное производство ОАО «Газпром». Новые требования нормативных документов / Е.М. Вышемирский // Журнал нефтегазового строительства. 2015. № 1. С. 30–39.
46. Зандберг, А.С. Инженерная оценка конструктивных параметров ремонтных сварных муфт магистральных трубопроводов / А.С. Зандберг // Сварка и диагностика, 2009. № 6. С. 25–29.
47. True, W.R. Composite wrap approved for U.S. gas-pipeline repairs // Oil & Gas Journal. – Oct. 9. 1995. – p. 67-71.
48. Якубовская, С.В. Влияние несовершенств формы полумуфт на напряженное состояние восстанавливаемого участка нефтепровода / С.В. Якубовская, А.Н. Платонов, Е.В. Дорофеев // Изв. вузов. Нефть и газ. – Тюмень: Тюменский индустриальный университет. – 2003. – № 2. – С. 79–82.

49. Шарыгин, А.М. Разработка оболочечных усиливающих конструкций с комплексным эффектом при ремонте дефектосодержащих участков конденсато-проводов без остановки перекачки / А.М. Шарыгин, В.М. Шарыгин и др. // Техн. обслуж. и ремонт газопроводов: Тез. докл. российских специалистов на 1-ой меж-дунар. конф., Словакия, 11-14 окт. 2000г. – М.: ИРЦ «Газпром», 2000. – С. 107-109.
50. Черногоров, Б.В. Разработка композиционных материалов для ремонта нефтепроводов / Б.В. Черногоров // Трубопроводный транспорт нефти. – 2001. – № 3. – С.2–4.
51. Тихонов, А. Н. Статистическая обработка результатов экспериментов / А. Н. Тихонов, М. В. Уфимцев. М. : Изд-во МГУ, 1988. - 174 с.
52. Смирнов, О.В. Применение электронной микроскопии в исследованиях деформационного старения материала трубопроводов / О.В. Смирнов, А.С. Кузьбожев, Р.В. Агинеи // Заводская лаборатория. Диагностика материалов – 2007. – №10. – С. 37-41.
53. Смирнов, О.В. Опыт применения рентгеноструктурного анализа в исследованиях металла трубопроводов / О.В. Смирнов, А.С. Кузьбожев, Р.В. Агинеи // Заводская лаборатория. Диагностика материалов – 2007. – №11. – С. 41-42.
54. Рудзей, Г. Ф. Особенности статистической обработки результатов усталостных испытаний / Г. Ф. Рудзей // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. 2004. - Т. 70, №1. - С. 66-70.
55. Платонов, А.Н. Осесимметричная задача напряженно-деформированного состояния восстановленного участка трубопровода // Изв. ву-зов. Нефть и газ. – Тюмень: ТюмГНГУ, 2003. – №4. – С. 81–85.
56. Зандберг, А. С. Напряжения в сварных соединениях и ремонтных конструкциях магистральных трубопроводов / А.С. Зандберг. М.: НИПКЦ Восход-А, 2008. 216 с.

57. Молдаванов, О.И. Метрологическое обеспечение трубопроводного строительства: справ. пособие / О.И. Молдаванов, В.Р. Андрианов, Н.Г. Молдаванова. – М. : Недра, 1984. – 224 с.
58. Середенок, В. А. Результаты исследования химического состава металла труб магистральных газопроводов при проведении капитального ремонта / В.А. Середенок, А.Ю. Михалев, Р.В. Агинеи, Р.А. Садретдинов, В.А. Лапин // Трубопроводный транспорт. – 2016 г. – №6. – С.36–40.