

Министерство образования и науки Российской Федерации
 Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
 высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
 ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт природных ресурсов
 Направление подготовки (специальность) 21.04.01 «Нефтегазовое дело»
 профиль «Надежность и долговечность газонефтепроводов и хранилищ»
 Кафедра Транспорта и хранения нефти и газа

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
«Анализ способов сварки полиэтиленовых труб при строительстве промышленных трубопроводов»

УДК 693.814.16

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2БМ4Б	Лось К.К.		19.05.2016

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Веровкин А.В.	к.т.н, доцент		19.05.2016

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Романюк В. Б.	к.э.н, доцент		19.05.2016

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Крепша Н.В.	к.г.-м. н., доцент		19.05.2016

Консультант-лингвист

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Швагрукова Е.В.	к.ф.н, доцент		19.05.2016

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ТХНГ	Рудаченко А.В.	к.т.н, доцент		19.05.2016

<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<p>Целью работы является анализ основных технологий сварки для строительства полиэтиленового трубопровода с целью уменьшения вероятности возникновения аварийных ситуаций при его эксплуатации, а также выбор наиболее выгодного способа сварки с экономической точки зрения.</p>
--	---

<p>Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	
--	--

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы
(с указанием разделов)

Раздел	Консультант
«Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	Романюк Вера Борисовна
«Социальная ответственность при сооружении резервуара»	Крепша Нина Владимировна
«Tank welding and welding types»	Швагрукова Екатерина Васильевна

Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:

1. Характеристики материала. Полиэтилен;
2. Полиэтиленовые трубы;
3. Способы сварки;
4. Контроль качества сварных соединений;
5. Сварка полиэтиленовых труб в условиях крайнего севера;
6. Расчетная часть;
7. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение;
8. Социальная ответственность;
Analysis of electro-melting and hot element welding methods' safety used to join natural gas pipes

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	16.03.2016г
--	-------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Веревкин Алексей Валерьевич	к.т.н, доцент		16.03.2016

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2БМ4Б	Лось Кирилл Константинович		16.03.2016

Министерство образования и науки Российской Федерации
 Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
 высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
 ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт природных ресурсов

Направление подготовки (специальность) 21.04.01 «Нефтегазовое дело»

профиль «Надежность газонефтепроводов и хранилищ»

Уровень образования: магистратура

Кафедра Транспорта и хранения нефти и газа

Период выполнения _____ осенний / весенний семестр 2015/2016 учебного года

Форма представления работы:

магистерская диссертация

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН
выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:

19.05.2016 г.

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
01.02.2016	<i>Характеристики материала. Полиэтилен</i>	...
10.02.2016	<i>Полиэтиленовые трубы</i>	...
24.02.2016	<i>Способы сварки</i>	
05.03.2016	<i>Контроль качества сварных соединений</i>	
16.03.2016	<i>Сварка полиэтиленовых труб в условиях крайнего севера</i>	
28.03.2016	<i>Расчетная часть</i>	
05.04.2016	<i>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</i>	
26.04.2016	<i>Социальная ответственность</i>	
07.05.2016	<i>Заключение</i>	
14.05.2016	<i>Презентация</i>	

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Веровкин А.В.	к.т.н, доцент		21.02.2016

СОГЛАСОВАНО:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ТХНГ	Рудаченко А.В.	к.т.н, доцент		01.03.2016

Реферат

Выпускная квалификационная работа: 98 с., 34 рис., 25 табл., 47 источников.

Ключевые слова: анализ, полиэтилен, трубопровод, плавление, стык, электромуфта, оборудование, сварка, крайний север, охрана труда.

Объектом исследования является промышленный полиэтиленовый трубопровод диаметром 315 мм.

Целью работы является анализ основных технологий сварки для строительства полиэтиленового трубопровода с целью уменьшения вероятности возникновения аварийных ситуаций при его эксплуатации, а также выбор наиболее выгодного способа сварки с экономической точки зрения.

В результате исследования были проанализированы два способа сварки полиэтиленовых труб с применением современного сварочного оборудования. В ходе выполнения работы были рассмотрены основные достоинства и недостатки обоих способов сварки, и по ходу анализа выявлен более выгодный способ.

Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики: технология выполнения работ, подготовительные работы, сварка полиэтиленовых труб, контроль качества сварных швов.

Область применения: для бесперебойной транспортировки природного газа, нефти, нефтепродуктов и их смесей от мест их добычи до установок комплексной подготовки.

Экономическая эффективность работы: затраты на сварку полимерного трубопровода стыковым способом меньше на 295633,68 руб., чем при электромуфтовой сварке.

Содержание

Введение.....	9
1 Характеристики материала. Полиэтилен.....	10
2 Полиэтиленовые трубы	12
2.1 Свойства полиэтиленовых труб	12
2.2 Маркировка полиэтиленовых труб.....	15
2.3 Виды полиэтиленовых труб	16
2.4 SDR полиэтиленовых труб	17
3 Способы сварки	19
3.1 Стыковая сварка.....	19
3.1.1 Описание способа	19
3.1.2 Оборудование стыковой сварки	20
3.1.3 Технология стыковой сварки.....	26
3.1.4 Достоинства и недостатки.....	28
3.2 Электромuffовая сварка	28
3.2.1 Описание способа	28
3.2.2 Оборудование электромuffовой сварки	29
3.2.3 Технология электромuffовой сварки.....	32
3.2.4 Достоинства и недостатки.....	33
4 Контроль качества сварных соединений	35
4.1 Процесс сварки	36
4.2 Виды разрушений ПЭ.....	38
4.3 Загрязнение ПЭ соединений	42
4.4 Разрушения, характерные для стыковой сварки	44
4.5 Сварочное давление	45
4.6 Давление протяжки	46
4.7 Температура плавления.....	47
4.8 Овальность трубы.....	47
4.9 Подготовка концов трубы (торцовка) и загрязнение.....	47
4.10 Центрирование труб	48

4.11	Время нагрева торцов.....	49
4.12	Технологическая пауза.....	50
4.13	Обеспечение качества и контроль технологического процесса	50
4.14	Автоматизированная стыковая сварка	51
4.15	Проверка сварочного грата.....	51
4.16	Испытание грата на изгиб.....	52
4.17	Разрушающее испытание.....	54
4.18	Техническое обслуживание оборудования.....	55
4.19	Электромужфтовая сварка.....	55
5	Сварка полиэтиленовых труб в условиях крайнего севера	61
6	Расчетная часть.....	69
7	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	71
7.1	Расчет затрат при стыковом методе сварки.....	71
7.1.1	Расчет времени сварки стыковым методом	71
7.1.2	Расчет затрат на оборудование и его амортизация	73
7.1.3	Расчет затрат на необходимую технику и ее амортизация.....	74
7.1.4	Расчет затрат на расходные материалы	75
7.1.5	Расчет затрат на оплату труда.....	76
7.1.6	Расчет затрат на страховые взносы	77
7.2	Расчет затрат методом сварки электромужфтой	78
7.2.1	Расчет времени электромужфтовой сварки	78
7.2.2	Расчет затрат на оборудование и его амортизация.....	80
7.2.3	Расчет затрат на необходимую технику и ее амортизация.....	81
7.2.4	Расчет затрат на расходные материалы	82
7.2.5	Расчет затрат на оплату труда.....	84
7.2.6	Расчет затрат на страховые взносы	84
7.3	Расчет затрат на проведение мероприятий	85
8	Социальная ответственность при сооружении промышленного трубопровода стыковым и электромужфтовым способами сварки	87
8.1	Профессиональная социальная безопасность	87

8.1.1 Анализ вредных производственных факторов и обоснование мероприятий по их устранению.....	88
8.1.2 Анализ опасных производственных факторов и обоснование мероприятий по их устранению.....	91
8.2 Экологическая безопасность.....	96
8.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	99
8.4 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	101
Заключение	103
Список использованных источников	104
Приложение А	108

1 Характеристики материала. Полиэтилен

Свойства полиэтилена во многом определяются его плотностью.

В российских и международных стандартах принята следующая классификация полиэтилена по группам плотности, г/см³:

- ПНП (ПВД) — полиэтилен низкой плотности (полиэтилен высокого давления) — 0,910-0,925 г/см³;
- ПСП (ПНД) — полиэтилен средней плотности (полиэтилен низкого давления) — 0,926-0,940 г/см³;
- ПВП (ПНД) — полиэтилен высокой плотности (полиэтилен низкого давления) — 0,941-0,965 г/см³.

Полиэтилен чувствителен к ультрафиолетовым лучам и теплу. Под их воздействием изменяются его цвет и механические характеристики, т.е. он становится более твердым и хрупким. Эти изменения происходят не сразу и становятся заметными только после года хранения труб на открытом воздухе, на солнце и в неблагоприятных климатических условиях [1].

При температурном воздействии полиэтилен становится более «эластичным», т.е. более легко поддающимся деформированию при механических усилиях. Обычно полиэтиленовые трубы рассчитываются исходя из прочности материала при температуре 200С. Если температура ниже этого значения, то прочность материала повышается.

- Температура плавления, при которой полиэтилен превращается в пастообразную «жидкость» 130°С.
- Температура размягчения 120°С.
- Температура хрупкости — 70°С.

					<i>Анализ способов сварки полиэтиленовых труб при строительстве промышленных трубопроводов</i>			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дат</i>				
<i>Разраб.</i>		<i>Лось К.К.</i>			Характеристики материала. Полиэтилен	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Руковод.</i>		<i>Веревкин А.В.</i>					10	2
<i>Консульт.</i>						НИ ТПУ гр. 2БМ4Б		
<i>Зав. Каф.</i>		<i>Рудаченко А.В.</i>						

Значение предела текучести является довольно важным, т.к. оно указывает на тот предел, по достижении которого пластическая масса испытывает необратимые изменения, при этом относительное удлинение составляет 16%. Разрыв наступает при нагрузке в 32 МПа, предел текучести — 19 МПа.

Удлинение может колебаться в пределах от 800 до 1000% при скорости от 50 до 100 мм/мин при температуре 200С. Величина удлинения непостоянна и зависит от скорости растягивания и температуры.

Коэффициент расширения полиэтилена в 10 раз превышает соответствующий коэффициент стали. Коэффициент расширения полиэтилена равен 0,15 — 0,20, тогда как у стали — 0,011 мм/м0С. Это следует учитывать при прокладке трубопроводов из полиэтиленовых труб и соблюдать меры предосторожности.

Если полиэтилен подвергается постоянной деформации, то с увеличением длительности воздействия напряжение материала уменьшается, т.к. он адаптируется к новому состоянию.

Полиэтилен обладает хорошими теплоизоляционными свойствами. Тем не менее для подземных трубопроводов теплоизоляционные свойства грунта зачастую более значимы, чем теплоизоляционные свойства самой трубы. Коэффициент теплопроводности полиэтилена 0,36-0,43 Вт/м0К.

При контакте с огнем полиэтилен быстро загорается, плавится и стекает каплями. Пламя при горении — синее, слабосветящееся, с запахом затухающей свечи.

					Анализ способов сварки полиэтиленовых труб при строительстве промышленных трубопроводов	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат		11

2 Полиэтиленовые трубы

2.1 Свойства полиэтиленовых труб

Применение полиэтилена для производства труб газо и водоснабжения привело к коренным изменениям индустрии строительства трубопроводов по всему миру. В подавляющем количестве стран более 90% вновь вводимых в строй трубопроводных распределительных систем для газа и воды изготовлены из полиэтилена. И это закономерный результат тех хорошо известных и многочисленных преимуществ, которыми обладает полиэтилен по сравнению с традиционными жесткими материалами.

Основные преимущества использования полиэтиленовых трубопроводов перед металлическими следующие:

- долговечность – гарантированный срок эксплуатации полиэтиленовых трубопроводов составляет 50 лет, расчетный срок до 150 лет;
- коррозионная стойкость – физические и химические свойства полиэтилена гарантируют прекрасную герметичность и высокую стабильность под воздействием агрессивных веществ, находящихся в почве и в транспортируемой среде, в течение всего срока эксплуатации. Полиэтиленовые трубопроводы не подвержены зарастанию внутренней поверхности продуктами коррозии и карбонатными отложениями. В результате зарастания внутренней поверхности пропускная способность металлических труб снижается через пять лет эксплуатации, в зависимости от группы воды, на 10-48%, через десять лет – на 14-57%, через 20 лет – 20-68% [2];
- сопротивляемость блуждающим токам – полиэтиленовые трубопроводы не подвержены действию блуждающих токов, в свою очередь

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат			
Разраб.		Лось К.К.			Полиэтиленовые трубы		
Руковод.		Веревкин А.В.					
Консульт.							
Зав. Каф.		Рудаченко А.В.					
					Лит.	Лист	Листов
						12	7
					НИ ТПУ гр. 2БМ4Б		

металлические трубопроводы часто пробиваются им. Полиэтилен обладает хорошими электроизоляционными свойствами;

➤ скорость и экономичность монтажа – для сварки полиэтиленовых труб не требуется тяжелая техника. Сваривать трубы может бригада из 1-2 человек. Значительно ниже потребление электроэнергии или топлива по сравнению со сваркой стальных труб. А применение так называемых «длинномерных труб» (на катушках или в бухтах) снижает количество сварных соединений в 50-100 раз. Все это значительно ускоряет строительство полиэтиленовых трубопроводов и снижает стоимость монтажа. Кроме того, трубы из полиэтилена легче стальных в 2-4 раза и поэтому перемещения при монтаже не требуют грузоподъемных механизмов. Одно транспортное средство перевозит в 2-4 раза больше полиэтиленовых труб, чем стальных. Эластичность. Гибкость полиэтиленовых труб упрощает строительство и позволяет отказаться от покупки отводов. Полиэтиленовые трубы обладают повышенной стойкостью к гидравлическим ударам при нормальном уплотнении грунта;

➤ повышенная пропускная способность – увеличение пропускной способности полиэтиленовых труб нарастает со временем по двум причинам. Во-первых, диаметр полиэтиленовых труб увеличивается в процессе эксплуатации без потери работоспособности за счет характерного для полиэтилена явления ползучести. Это увеличение составляет 1,5% за первые десять лет и 3% за весь срок службы трубопровода. Во-вторых, внутренняя поверхность полиэтиленовой трубы со временем становится более мягкой и гладкой, вследствие набухания граничного слоя полимера и возникновения специфического поверхностного эффекта эластичности, который улучшает условия обтекания стенки трубы и снижает сопротивление движению. Гладкость полимерных труб на 30% выше, чем стальных, благодаря чему происходит снижение потерь давления в трубах. Это дает возможность – использовать полиэтиленовый трубопровод диаметром на один сортament меньше по сравнению со стальным, что естественно ведет к экономии

					Анализ способов сварки полиэтиленовых труб при строительстве промышленных трубопроводов	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат		13

денежных средств при укладке трубопровода;

➤ экономия на изоляции – для прокладки подземных трубопроводов из стальных труб требуется изоляция поверхности труб полимерными пленками либо битумной мастикой. Все виды полиэтилена - плохие проводники тепла, благодаря чему изготовленным из них трубопроводам не требуются те объемы изоляции, которые необходимы для металлических труб. Теплопроводность полиэтиленовых труб в 175 раз меньше, чем у стальных, и в 1300 раз меньше, чем медных труб. При выборе материала для прокладки трубопровода следует учесть, что стоимость полиэтиленовой трубы ниже изолированной стальной трубы;

Таблица 1 - Преимущества полиэтиленовых труб

Параметры	Стальная труба	ПЭ труба
Гарантийный срок эксплуатации	До 5 лет	50 лет
Изоляция труб	требуется	не требуется
Электрохимзащита	требуется	не требуется

➤ безопасность – трубы для хозяйственно-питьевого водоснабжения изготавливают из полиэтилена марок, разрешенных органами здравоохранения по ГОСТ 18599-2001 Межгосударственный стандарт. Полиэтиленовые водопроводы токсикологически и бактериологически безопасны, их внутренний слой не выделяет в воду никаких вредных примесей;

➤ полиэтиленовые трубы очень "малозумные", они глушат звук протекания продукта, что не присуще металлическим трубопроводам;

➤ на наружной поверхности полиэтиленовых трубопроводов практически не наблюдается явление конденсации влаги;

➤ температурный интервал эксплуатации полиэтиленовых трубопроводов от минус 45°С до плюс 60°С [3]. При замерзании продукта в

полости трубопровода трубы не разрушаются, а увеличиваются в диаметре, приобретая прежний размер при оттаивании.

Такие основные качества как долговечность, экономичность, сокращение времени строительства, устойчивость к агрессивным средам, эластичность материала, безопасность все чаще заставляют делать выбор в пользу именно полиэтиленовых труб при строительстве трубопроводов различного назначения.

2.2 Маркировка полиэтиленовых труб

С целью идентификации изделий производителем осуществляется маркировка полиэтиленовых труб. Она наносится на наружную их поверхность с интервалом в 1 м (иногда менее) и включает в себя данные:

- наименование завода-изготовителя (может быть заменено нанесением товарного знака);
- условное обозначение изделия;
- дата выпуска.

Дополнительно производитель может указать номер партии или линии.

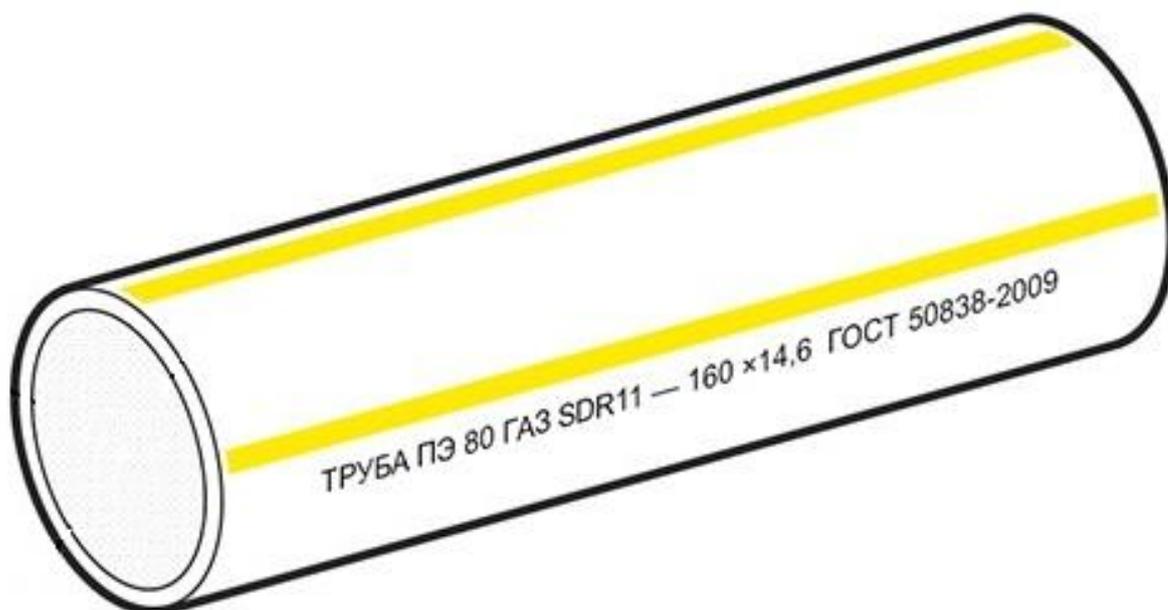


Рисунок 1 – Маркировка полиэтиленовой трубы

Условное обозначение полиэтиленовых труб содержит в себе все основные характеристики и выглядит следующим образом:

- слово «труба»;
- марка полиэтилена, из которого изделие произведено;
- назначение («газ» или «питьевая»);
- SDR (из таблицы сортамента);
- знак «тире»;
- номинальный диаметр изделия;
- толщина стенок трубы;
- название используемого при производстве ГОСТа.

Для примера разберем маркировку «ТРУБА ПЭ 80 ГАЗ SDR 11 – 160x14,6 ГОСТ 50838-2009».

Расшифровка: труба полиэтиленовая — диаметр 160 мм с толщиной стенки 14,6 мм, предназначенная для газа и изготовленная по ГОСТ 50838-2009. При ее производстве использовался полиэтилен низкого давления ПЭ 80.

2.3 Виды полиэтиленовых труб

Трубы ПЭ 80 и ПЭ 100 предназначены для газопроводов, транспортирующих горючие газы, используемые в качестве сырья и топлива для промышленного и коммунально-бытового использования.

- Полиэтиленовые трубы марки ПЭ 80

Трубы марки ПЭ 80 способны выдержать давление в 8 МПа в течении 50 лет и конечно же при этом не повредившись.

- Полиэтиленовые трубы марки ПЭ 100

Трубы марки ПЭ 100 способны выдержать давление в 10 МПа в течении 50 лет и так же без потери своих качеств.

ПЭ 100 — это усовершенствованный ПЭ 80. Плотность ПЭ 100 выше, чем у ПЭ 80, а это означает, что труба из ПЭ 100, рассчитанная на определенное рабочее давление, имеет толщину стенок значительно меньшую,

					Анализ способов сварки полиэтиленовых труб при строительстве промышленных трубопроводов	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат		16

в отличие от трубы из ПЭ 80, для такого же рабочего давления в трубе [4]. Помимо увеличения пропускной способности ПЭ 100 перед ПЭ 80, уменьшается время сварки и снижается вес.

По своим свойствам материал ПЭ 100 более пригоден для изделий больших размеров, а ПЭ 80 — для изделий меньших размеров. Полиэтиленовые трубы особенно удобны для реновации трубопроводов бестраншейным способом, а система очень гибких труб из ПЭ 80 обладает особыми преимуществами при укладке в сложных условиях, например по морскому или озерному дну.

2.4 SDR полиэтиленовых труб

Одним из важных показателей, которые характеризуют полиэтиленовые трубы, является стандартное отношение размеров или SDR (Standart Dimension Ratio) [5]. Этот параметр представляет собой отношение наружного диаметра (номинального) к толщине стенки (также номинальной):

$$SDR = \frac{d}{s}; \quad (1)$$

где d – наружный диаметр, мм;

S – толщина стенки, мм.

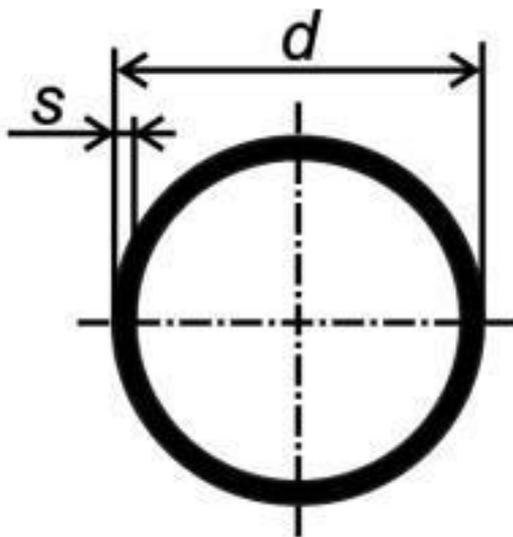


Рисунок 2 – Соотношение SDR

					Анализ способов сварки полиэтиленовых труб при строительстве промышленных трубопроводов	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат		17

Очевидно, что с увеличением SDR уменьшается толщина стенки трубы, и наоборот, толщина стенки полиэтиленовой трубы тем больше, чем меньше значение SDR. Хотя на практике показатель SDR – это стандартный параметр, принимающий значения согласно таблице.

Таблица 2 – Зависимость толщины стенки трубы от наружного диаметра

Наружный диаметр, мм	Толщина стенки трубы, мм		
	SDR 9	SDR 11	SDR 17,6
32	-	3,0	-
63	7,6	5,8	3,6
90	10,1	8,2	5,2
110	12,3	10	6,3
160	17,9	14,6	9,1
225	25,2	20,5	12,8
315	35,2	28,6	17,9

ГОСТ 18599-2001, который имеет название «Трубы напорные из полиэтилена», регламентирует качество труб и описывает их основные технические параметры, в том числе диаметры полиэтиленовых труб [6].

3 Способы сварки

Важным преимуществом является то, что по своим реологическим свойствам полиэтилен является хорошо свариваемым материалом. Благодаря широкому температурному интервалу вязкотекучего состояния (более 70 °С) и небольшой вязкости расплава.

Существует два основных метода неразъемного соединения полиэтиленовых труб – с помощью фитингов с закладными нагревательными элементами (электромужфтовые соединения) и методом стыковой сварки.

3.1 Стыковая сварка

3.1.1 Описание способа

Сварка встык заключается в нагреве торцов свариваемых труб или деталей до вязкотекучего состояния полиэтилена в результате контакта с нагревателем и последующим соединением торцов под давлением после удаления нагревателя. Встык можно сваривать только трубы и фитинги одинакового диаметра и SDR, изготовленные из одной марки полиэтилена [8]. Рекомендуемая толщина стенки трубы при стыковой сварке должна быть не менее 4,5 мм. Стыковую сварку разрешено проводить при температуре воздуха от -15°С до +45°С [9]. Сварка в стык – достаточно сложный технологический процесс, требующий высокой квалификации персонала и высококачественного оборудования. Вместе с тем, данный способ обладает рядом несомненных преимуществ:

- для сварки полиэтиленовых труб не требуется тяжелая техника;

					<i>Анализ способов сварки полиэтиленовых труб при строительстве промысловых трубопроводов</i>			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дат</i>				
<i>Разраб.</i>		<i>Лось К.К.</i>			<i>Способы сварки</i>	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Руковод.</i>		<i>Веревкин А.В.</i>					19	16
<i>Консульт.</i>						НИ ТПУ гр. 2БМ4Б		
<i>Зав. Каф.</i>		<i>Рудаченко А.В.</i>						

- сваривать полиэтиленовые трубы может бригада из 1 — 2 человек;
- при применении так называемых “длинномерных труб” (на катушках или в бухтах) снижается количество сварных соединений в 50 — 100 раз.

Все это значительно ускоряет строительство трубопровода и снижает стоимость монтажа.

3.1.2 Оборудование стыковой сварки

Машины для стыковой сварки полиэтиленовых труб имеют несколько составных частей — независимых друг от друга и готовых к работе агрегатов.

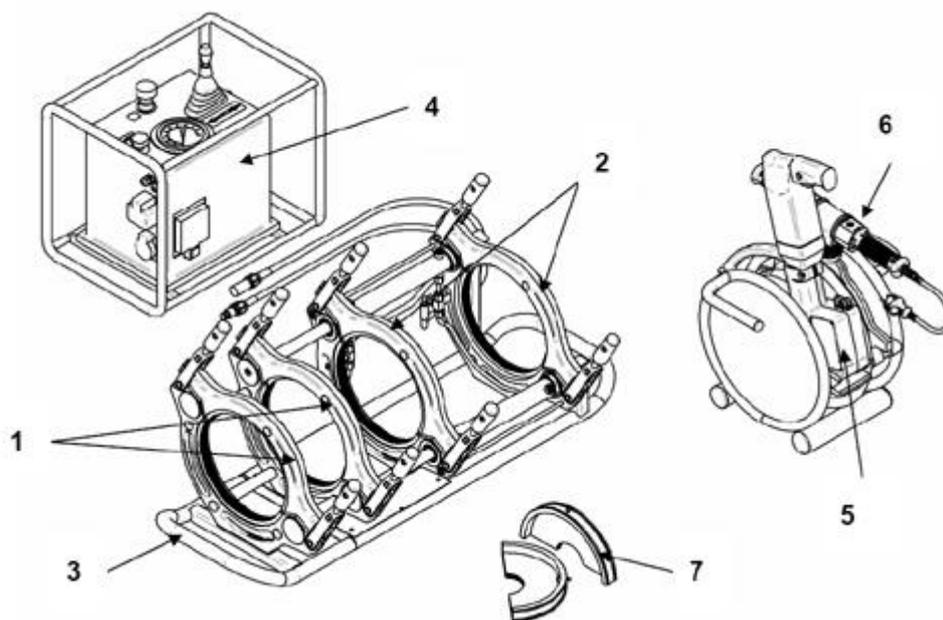


Рисунок 3 – Состав оборудования для стыковой сварки:

1 – подвижные зажимы для труб, 2 – неподвижные зажимы для труб, 3 – рама для установки положения зажимов, 4 – гидравлический привод, 5 – торцеватель, 6 – нагревательный элемент (сварочное зеркало), 7 – сменные вкладыши

3.1.2.1 Центратор

Центратор (базовый элемент) – рама с четырьмя металлическими зажимами для фиксации труб и соединительных деталей. Два из них подвижны и два неподвижно укреплены на направляющих.

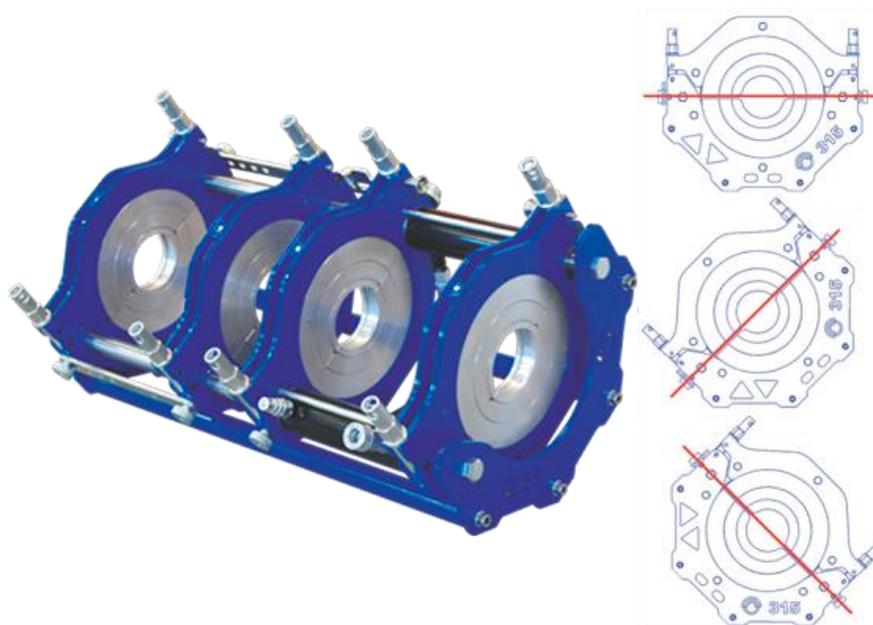


Рисунок 4 – Центратор

Центратор имеет такие качества как:

- возможность работы по схеме 2+2 (два подвижных и два неподвижных хомута) и по схеме 3+1 для сварки фитингов, отводов, Y-образных отводов, тройников, крестовин, соединив 2 и 3 хомут при помощи перекидной планки;
- затяжка гаек откидных винтов вручную, накидным или рожковым ключом;
- редуцирующие вкладыши для крепления труб меньшего диаметра;
- площадь сечения поршня гидроцилиндра позволяет развивать усилие необходимое для сварки полиэтиленовых труб с SDR от 41 до 6.

3.1.2.2 Гидравлический привод

Гидравлический привод – обеспечивает постоянный уровень давления, необходимого для работы сварочной машины с возможностью ее точной регулировки на всех стадиях процесса сварки. Давление автоматически поддерживается во время цикла «ОСТЫВАНИЕ» при выключенном двигателе. В машинах, предназначенных для сварки труб диаметром до 160мм, может быть применен механический привод, где давление регулируется по принципу рычага.

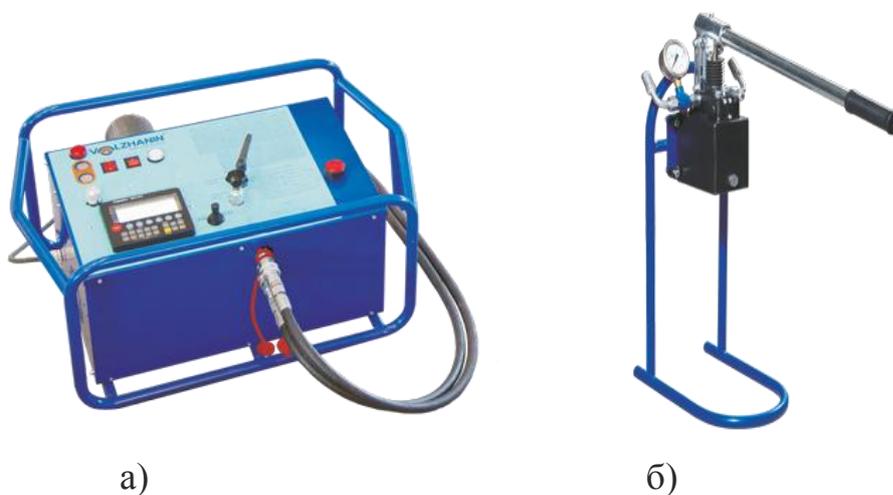


Рисунок 5 – Виды приводов:

а) – гидравлический, б) – механический

Гидравлический привод имеет такие качества как:

- минимальное количество соединений, что позволяет минимизировать падение давления в системе и упростить монтаж узлов станции;
- гидроаккумулятор обеспечивает поддержание давления на всех этапах сварочного процесса.

3.1.2.3 Торцеватель

Торцеватель – дисковое устройство, снабженное электродвигателем для механической обработки (торцевания) концов свариваемых труб и соединительных деталей. Торцеватель имеет крепление к направляющим сварочного аппарата для удержания при обработке. При снятии стружки контакт между свариваемыми частями труб и торцевателем обеспечивается давлением подвижных зажимов. Микровыключатель препятствует вращению дисков вне сварочного аппарата. Ножи (лезвия) торцевателя как правило заточены с обеих сторон. Перевернув, можно использовать их вторую режущую кромку.



Рисунок 6 – Виды торцевателя:

а) – электрический, б) – механический

Электрический торцеватель имеет высокий крутящий момент и запас мощности, что обеспечивает высокую надежность торцевателя, а так же минимальное количество сопрягаемых деталей, что обеспечивает максимальное торцевое биение и как следствие минимальный зазор между торцов труб. При отсутствии возможности подключения электрического торцевателя к сети применяют механический торцеватель который обладает малыми габаритными размерами чем прекрасно подходит для работы в стесненных условиях.

3.1.2.4 Нагревательный элемент

Нагревательный элемент – служит для нагрева и оплавления свариваемых поверхностей труб и соединительных деталей. Его стороны, контактирующие с свариваемыми поверхностями покрыты тефлоном для предотвращения прилипания полиэтилена. Нагревательный элемент снабжен встроенным термометром.



Рисунок 7 – Нагревательный элемент

Нагревательный элемент имеет такие качества как:

- система нагревательных элементов обеспечивает равномерное распределение температуры по всей поверхности зеркала (± 1) (не зависимо от размера зеркала 160 мм - 1600 мм);
- цифровой терморегулятор позволяет установить любой температурный режим, и поддержать его на всём этапе сварочного процесса.

3.1.2.5 Сменные вкладыши

Сменные вкладыши – набор вставных полуколец для сварки труб различного диаметра в пределах заявленных изготовителем размеров труб,

					Анализ способов сварки полиэтиленовых труб при строительстве промышленных трубопроводов	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат		24

свариваемых данной моделью сварочной машины. Вкладыши поставляются опционально или входят в основной комплект поставки.



Рисунок 8 – Сменные вкладыши

3.1.2.6 Прибор протоколирования

Прибор протоколирования позволяет осуществлять контроль за сварочным процессом, а также за тем, чтобы последовательность технологического процесса полностью соответствовала изначально заданным параметрам. Аппарат регистрирует полученные показатели. Есть возможность передачи полученных сведений на компьютер при помощи USB и последующей распечатки на принтере. Данный прибор может в полуавтоматическом режиме осуществлять сварочный процесс.

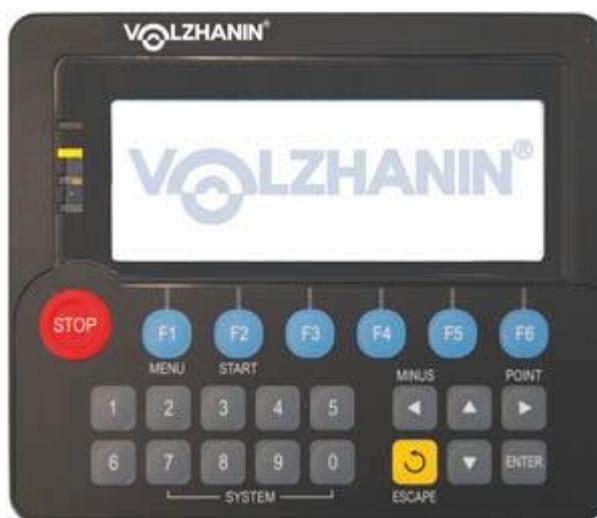


Рисунок 9 – Прибор протоколирования

					Анализ способов сварки полиэтиленовых труб при строительстве промышленных трубопроводов	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат		25

3.1.3 Технология стыковой сварки

Стыковая сварка на сварочном оборудовании методом «встык» - наиболее востребованный и эффективный метод монтажа труб. Стыковая сварка выполняется в том случае, если диаметр материала более 50мм, а толщина стенки более 4мм. Не разрешается сварка из неоднородных полимерных материалов.

Идея способа стыковой сварки ПЭ труб состоит в том, что торцы во время сварки нагреваются до состояния вязкого полиэтилена непосредственным контактом с электрическим нагревательным элементом. После этого расплавленные торцы труб соединяются гидравлическим давлением и выдерживаются некоторое время до полного остывания.

Перед процессом нагрева торцы свариваемых труб подвергаются механической очистке и обработке для удаления загрязнений.

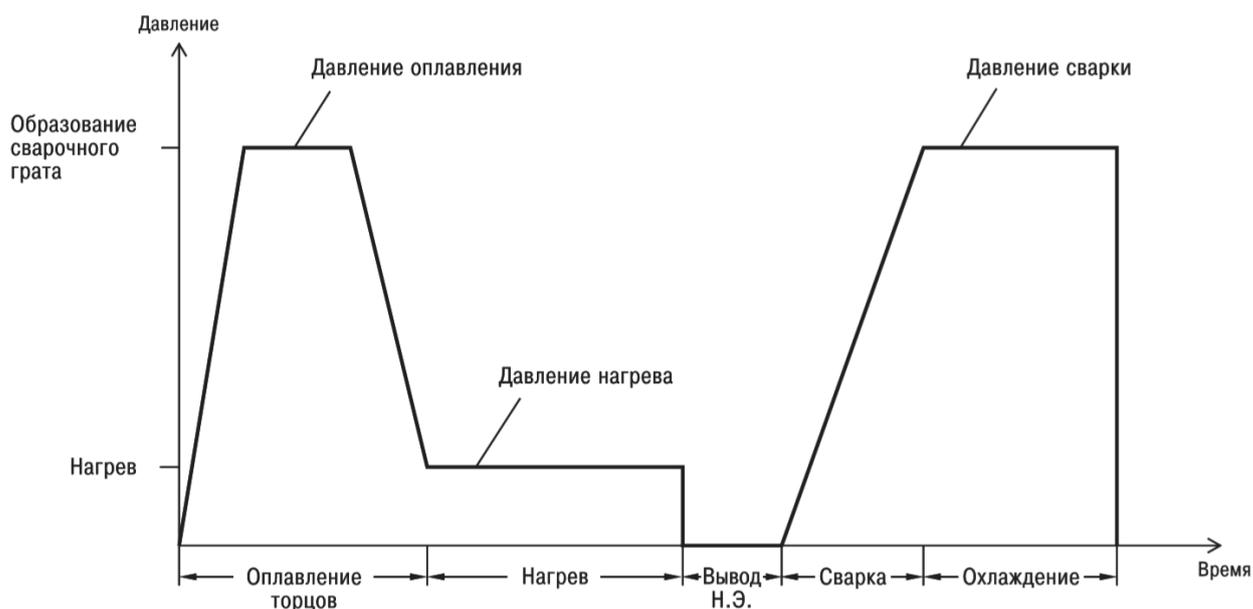


Рисунок 10 - Циклограмма процесса сварки встык нагретым инструментом [10]

Всего существует пять этапов стыковой сварки труб:

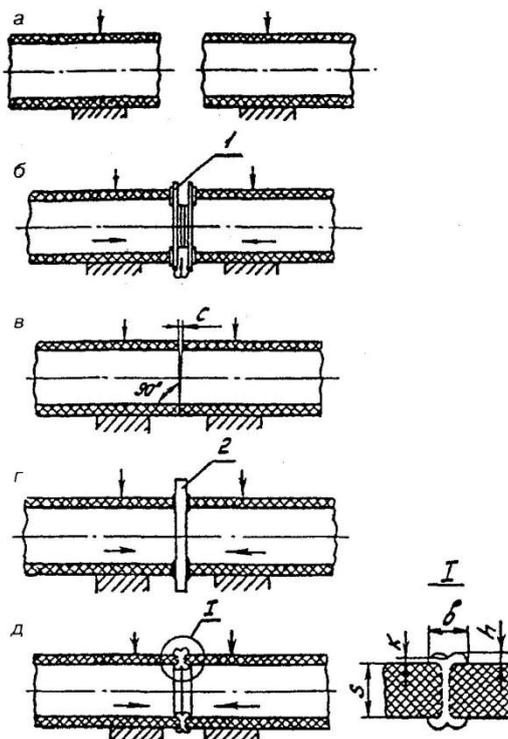


Рисунок 11 – Этапы стыковой сварки труб:

- а) – монтаж и центровка в кольцевых зажимах сварочного аппарата концов свариваемых труб, б) – торцевание перед сваркой специальными ножами с механическим приводом, в) – производится визуальная проверка на точность совпадения торцов, контролируется величина зазора, г) – нагреваются и оплавляются поверхности предварительно нагретым инструментом, д) – нагревательный элемент удаляется из области сварки, трубы соединяются под давлением, происходит осадка стыка.

Во время стыковой сварки труб необходимо контролировать следующие основные параметры:

- Температура нагревательного элемента;
- Время нагрева соединяемых поверхностей;
- Величина оплавления полиэтилена (высота грата);
- Контактное давление во время нагрева и во время охлаждения.

После того, как процесс стыковой сварки труб завершен, в процессе охлаждения сварной шов достигает требуемой прочности, а так же обеспечивается однородность материала в месте соединения.

3.1.4 Достоинства и недостатки

К достоинствам данного метода можно отнести так немаловажные параметры как:

- стыковая сварка труб позволяет визуально контролировать процесс сваривания;
- такая сварка пластиковых труб позволяет достичь высокого качества и прочности образующегося шва (стыковая сварка образует шов прочностью в 80-85% прочности основного материала);
- при этом сварка труб встык имеет сравнительно невысокую стоимость;
- стыковая сварка выполняется на универсальном оборудовании (одни и те же аппараты сварки труб способны работать с трубами разных диаметров);
- абсолютно не требует никаких расходных материалов.

Основным и единственным недостатком является масса и габариты сварочного оборудования по сравнению с электромuffтовой сваркой.

Размер оборудования больше по сравнению с электромuffтовой сваркой

3.2 Электромuffтовая сварка

3.2.1 Описание способа

Ограничения, которые существуют для стыковой сварки полиэтиленовых труб, можно исключить применением электромuffтовой сварки. Этот способ соединения полиэтиленовых труб имеет несколько

					Анализ способов сварки полиэтиленовых труб при строительстве промышленных трубопроводов	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат		28

названий. Он может называться сваркой муфтами с закладными нагревателями, сваркой электросварными муфтами, муфтовой сваркой полиэтиленовых труб.

Что касается преимуществ электромуфтовой сварки, то она допускает соединения труб с различными толщинами стенок, в том числе менее 4 мм, что для стыковой сварки недопустимо. Допускается сварка труб и фитингов с разной маркой полиэтилена, диапазон диаметров электромуфтовой сварки составляет 20-800мм. Сварку полиэтиленовых труб муфтами можно производить в стеснённых условиях, а ремонтные работы полиэтиленового трубопровода почти всегда требуют применения такого способа соединения.

В теле полиэтиленовой муфты находится металлическая спираль, она может быть полностью скрытой, частично утопленной, и открытой. При подаче тока определённой величины, спираль нагревается до температуры плавления полиэтилена. Нагрев спирали обеспечивает сплавление и взаимное проникновение материала трубы и муфты, образуя надёжное соединение [11].

3.2.2 Оборудование электромуфтовой сварки

Комплект электромуфтовой сварки состоит из трех основных компонентов которые показаны на рисунке 12.



Рисунок 12 – Комплект электромуфтовой сварки

3.2.2.1 Электромuftовый сварочный аппарат

Электромuftовый сварочный аппарат, контролирует процесс сварки, обнаруживает, возникающие нарушения и сбои. Обычно такое устройство применяется на монтаже полиэтиленовых трубопроводов с большими объемами сварочных работ, так как они значительно ускоряют процесс сварки и поэтому производительнее. Полученные при помощи сварки соединения не влияют на гибкость материала, что позволяет эксплуатировать трубопроводы в любых условиях.



Рисунок 13 – Электромuftовый сварочный аппарат

3.2.2.2 Электромuftа

Электромuftа является соединительной деталью, сваривающей два конца трубопровода. Сварка происходит путем плавления полиэтилена на соединяемых поверхностях электромuftы и труб за счет тепла, выделяемого при протекании электрического тока по заложенному в электромuftу электрическому нагревателю, и последующем естественном остывании сварного соединения, при котором образуется неразъемное сварное соединение.

Электромuftы, в зависимости от способа производства, могут быть как с открытой внутри спиралью, так и со спиралью, покрытой тонким слоем

полиэтилена. Электрическое сопротивление спирали зависит от вида, диаметра, производителя детали.



Рисунок 14 – Электромуфта

3.2.2.3 Позicionер

Применяется для крепления труб перед сваркой с помощью фасонных деталей с закладными нагревательными элементами, а также для придания трубе круглой формы. Исключительно важно обеспечить соосное расположение электромуфты и труб и неподвижность такого расположения в течение всего сварочного цикла.

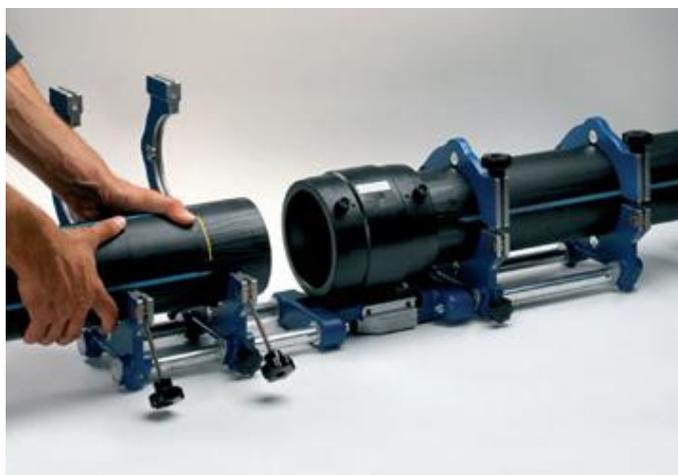


Рисунок 15 – Позicionер

					Анализ способов сварки полиэтиленовых труб при строительстве промышленных трубопроводов	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат		31

Электромуфта не должна выполнять функции несущего элемента сборки. Для этой цели используют позиционер, который помогает:

- обеспечить соосность свариваемых труб;
- выровнять овальность труб;
- зафиксировать трубы на время сварки и последующего остывания.

3.2.3 Технология электромуфтовой сварки

В основе технологии соединения лежит специально разработанная муфта, самостоятельно расплавляющая полимер [12].

Для выполнения качественной пайки полипропиленовых труб, важно обязательно выдерживать порядок рабочих шагов:

- края труб отрезать под прямым углом к оси и зачистить;
- края труб требуемой длины очистить и высушить;
- отметить глубину вставки электромуфты;
- обработать всю поверхность трубы до отмеченной глубины вставки с помощью специального зачистного инструмента;
- ещё раз тщательно вытереть. Без качественной зачистки поверхности в области сварки нельзя ожидать гомогенного и плотного соединения;
- электромуфту надвинуть на чистый и сухой край трубы до маркированной отметки глубины сварки. При необходимости применить устройство для сжатия круглых предметов;
- защитную упаковку снять и вставить зачищенный и чистый край второй трубы до упора в электросварочную муфту;
- муфту установить так, чтобы воздушный зазор был распределён по объёму равномерно;
- сварочный аппарат настроить под диаметр муфты;
- сравнить данные на табло сварочного аппарата с данными указанными на штрих коде наклеенном на электромуфту;

					Анализ способов сварки полиэтиленовых труб при строительстве промышленных трубопроводов	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат		32

- начать сварочный процесс и проследить за ним.

Место соединения на протяжении всего времени сварочного процесса и до полного истечения времени охлаждения нельзя подвергать каким-либо движениям или внешним нагрузкам.

Только по истечении полного времени охлаждения можно подвергать соединению труб каким-либо движениям или нагрузкам, или ослаблению фиксации. Минимально требуемое время охлаждения указано на электромуфте. При температуре окружающей среды свыше 25°C или при усиленном солнцепёке необходимо увеличить время охлаждения [13].

3.2.4 Достоинства и недостатки

К достоинствам данного метода можно отнести такие качества как:

- Электромуфтовая сварка полиэтиленовых труб отличается быстротой и легкостью монтажа. Достаточно подвести концы трубопровода и соединить их с помощью нагревательных деталей.

- Для сваривания труб потребуются только фасонные изделия и специальное нагревательное оборудование.

- Благодаря свойствам расплавленного полиэтилена данный метод соединения позволяет приваривать трубы разной толщины стенок. Кроме того, сварка муфт может проходить как в открытых, так и в замкнутых, стесненных пространствах.

- Получаемое соединение труб отличается высокой надежностью и долговечностью. В результате расплавления полиэтилена материалы на месте стыка начинают процесс полного взаимопроникновения. Поэтому после остывания плотность сварного шва аналогична остальным участкам трубы.

- Аппараты, используемые для данного типа соединения труб, отличаются небольшим весом, компактностью и малым энергопотреблением (по сравнению с устройствами для стыковых методов). Эта технология идеально подойдет для оперативного ремонта на бюджетных объектах [14].

					Анализ способов сварки полиэтиленовых труб при строительстве промышленных трубопроводов	Лист
						33
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат		

К недостаткам стоит отнести такие факторы:

- сравнительно высокую стоимость соединительных деталей;
- много времени уходит на остывание стыка;
- из-за увеличения диаметра на месте стыка, становится

затруднительно продольное перемещение трубопровода.

					Анализ способов сварки полиэтиленовых труб при строительстве промышленных трубопроводов	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат		34

4 Контроль качества сварных соединений

Благодаря таким свойствам, как химическая стойкость, устойчивость к коррозии и долговечность, полиэтиленовые трубы можно использовать в течение длительного времени — по самым скромным подсчетам, более 100 лет. Сегодня полиэтилен (ПЭ) широко применяется для изготовления трубопроводов, предназначенных для транспортировки воды и газа: устойчивость к воздействию давления и прочность конструкции являются принципиально важными показателями для срока эксплуатации таких трубопроводов, ведь авария в системе может вызвать наводнение, взрыв, пожар и гибель людей, что, в свою очередь, повлечет за собой судебные процессы и значительные убытки. Кроме того, это может спровоцировать сбои в газо- и водоснабжении, а также возникновение опасных факторов и привести к потере репутации компании.

Крупнейшие мировые операторы трубопроводных сетей отмечают, что основная угроза целостности ПЭ трубопровода, помимо повреждения третьей стороной, – плохое качество сварных швов. Очевидно, что соединения – это наиболее уязвимое место в любой технической системе. Осевое напряжение или напряжение при изгибе, образовавшиеся в результате теплового расширения или сжатия, или перемещение грунта повышают риск повреждения некачественных соединений.

					<i>Анализ способов сварки полиэтиленовых труб при строительстве промысловых трубопроводов</i>			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дат</i>				
<i>Разраб.</i>		<i>Лось К.К.</i>			<i>Контроль качества сварных соединений</i>	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Руковод.</i>		<i>Веревкин А.В.</i>					35	26
<i>Консульт.</i>						НИ ТПУ зр. 2БМ4Б		
<i>Зав. Каф.</i>		<i>Рудаченко А.В.</i>						

4.1 Процесс сварки

ПЭ трубы обычно поставляются в прямых отрезках длиной 6 или 12 м или в бухтах длиной от 50 до 150 м. Возникает необходимость соединять трубы между собой, а также осуществлять переход с одного диаметра на другой, присоединив ответвление.

Существуют два основных метода сварки, а именно:

1. Стыковая сварка;
2. Муфтовое соединение.

Метод стыковой сварки заключается в том, что торцы двух соединяемых труб обрезают под прямым углом, затем нагревают при помощи нагревательного элемента (сварочного зеркала). При этом осуществляется контроль температуры, времени и давления сварки.

При электромуфтовой сварке используются изготовленные методом литья под давлением ПЭ фитинги, в которые вставляются трубы. Непосредственно под внутренней поверхностью фитинга расположены несколько проволочных нагревательных элементов, контакты которых выведены наружу. При подаче питания от управляемого источника электроэнергии эти проволочные элементы в течение заданного времени создают необходимую температуру для расплавления пластмассы. После охлаждения образуется сварное соединение.

В процессе сварки ПЭ нагревается до температуры плавления кристаллической фазы и становится вязкоупругим. В таком состоянии под воздействием давления длинноцепочечные молекулы ПЭ могут расцепляться, высвобождаться и перемещаться относительно друг друга (вязкий поток), как показано на рисунке 16.

					Анализ способов сварки полиэтиленовых труб при строительстве промышленных трубопроводов	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат		36

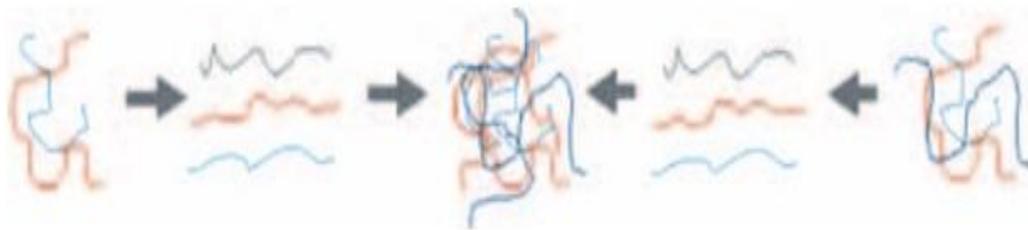


Рисунок 16 – Процесс перемещения длинноцепочечных молекул полиэтилена

На этом этапе можно соединять друг с другом два расплава. В процессе соединения молекулы расплавов начинают перемешиваться, сближаться друг с другом и соединяться. В процессе охлаждения подвижность цепей снижается, молекулы прекращают расцепление, кристаллическая структура восстанавливается, и материал затвердевает снова. Шов, получаемый при сварке плавлением, может обладать такой же прочностью, как и исходный материал.

Для успешного соединения напорных ПЭ труб с помощью данных методов необходим строгий контроль параметров и условий сварки. Для удовлетворения требованиям безопасности газоснабжения соединения должны быть абсолютно надежными. Фактически необходимо обеспечить уровень надежности, характерный для авиакосмической отрасли, в сочетании с простотой установкой, обусловленной использованием недорогой рабочей силы, а также с необходимостью производить работы в грязи и в любую погоду.

Другая сложность заключается в том, что надежная проверка соединений полиэтиленовых труб с помощью неразрушающих испытаний оказалась очень трудоемкой, поскольку методом рентгенографии и ультразвука невозможно точно определить основные дефекты, которые влияют на качество ПЭ соединений, – загрязнение мелкими частицами, неполное сплавление в стыковых швах, а также смещение и загрязнение электромuffтовых соединений. Такие новые разработки, как ультразвуковые дефектоскопы на фазированных решетках и СВЧ-дефектоскопы, еще не доказали свою достаточную надежность и рентабельность при применении в полевых условиях.

Таким образом, для предотвращения разрушения сварных соединений необходимо использовать простые техники контроля качества выполнения работ непосредственно на месте строительства. Данный подход, в свою очередь, требует организации подготовки персонала для поддержания требуемого уровня квалификации.

4.2 Виды разрушений ПЭ

Такое явление, как растрескивание под напряжением, возникает в ПЭ материалах из-за медленно растущих трещин, которые могут образовываться вследствие напряжения в материале. Широко известно, что долговечность напорных ПЭ труб зависит от их устойчивости к трещинообразованию. Подобного рода повреждение может также возникать в любых сварных соединениях.

Исследования труб из ПЭ высокой плотности показали, что растрескивание под напряжением является одним из трех основных типов разрушений ПЭ труб.

Вязкое разрушение, тип I, выражается в текучести и свидетельствует о подверженности материала сильной необратимой пластической деформации, возникающей под напряжением. В результате происходит локальное расширение участка стенки и в конечном счете разрыв деформированной зоны.



Рисунок 17 – Разрыв деформированной зоны в локальном расширении участка

					Анализ способов сварки полиэтиленовых труб при строительстве промышленных трубопроводов	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат		38

Разрушение II типа связано с ползучестью, разрушением при ползучести и растрескиванием под напряжением. Ползучесть – зависящая от времени необратимая деформация в условиях постоянного растягивающего напряжения. Разрушение при ползучести представляет собой последний этап этого процесса и соответствует моменту, когда материал под воздействием постоянной растягивающей нагрузки разрушается.

На ускорение процесса разрушения при ползучести могут влиять:

- Температура;
- Концентрация напряжений;
- Усталость материала;
- Химическая среда.

Развитие событий, которые приводят к разрушениям при ползучести, представлено на рисунке 18.

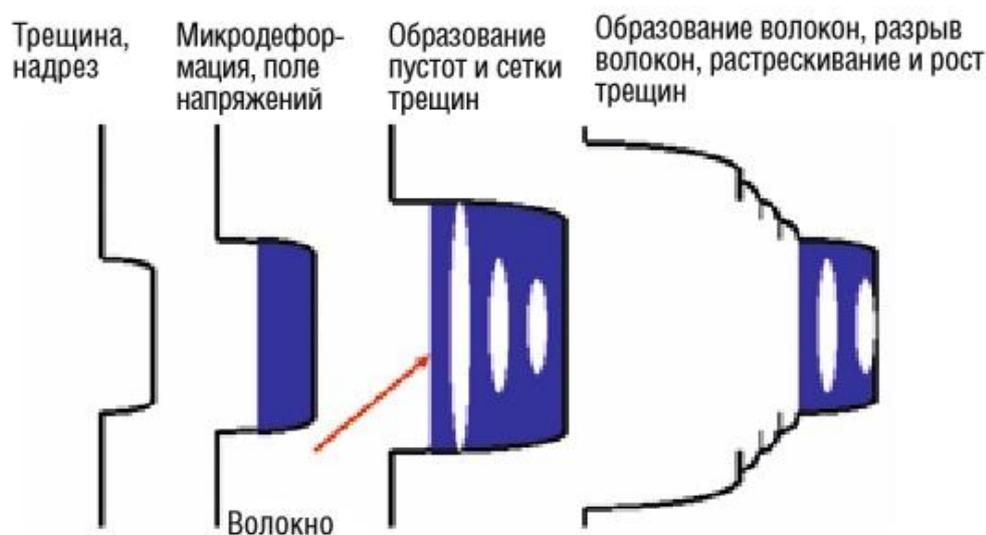


Рисунок 18 – Процесс разрушения при ползучести

Начало растрескивания характеризуется тем, что до возникновения трещин образуются пустоты, которые, постепенно разрастаясь, заполняются натянутыми волокнами. Этот процесс, известный как образование сетки трещин, продолжается до того момента, пока максимально растянутые волокна не порвутся, тем самым вызвав растрескивание.

Для ПЭ прочность волокон и их сопротивляемость разрыву во многом зависят от молекулярной структуры, в частности, от молекулярного веса, его распределения, ветвистости молекул, степени кристаллизации и связывающих молекул. Связывающие молекулы соединены с кристаллическими блоками и пересекают аморфные зоны, выполняя функции механических связей между кристаллическими областями. Эти молекулы играют решающую роль в сопротивлении волокон разрыву и обеспечении механических свойств материала под воздействием напряжения.

Разрушение III типа связано с износом и повышением хрупкости пластика в результате термического окисления с течением времени.

Исследования показали, что для обеспечения безопасной работы газораспределительных сетей необходимо учитывать тип долгосрочного разрушения ПЭ. При этом для сопротивляемости разрушению при ползучести огромное значение имеет высокая степень долговременной прочности при постоянной нагрузке в условиях низкого давления в течение 50 лет и более. Сопротивляемость растрескиванию под напряжением также очень важна для предотвращения разрушений, вызванных повреждениями в виде продольных борозд (зарубок, царапин, надрезов), которые появляются при транспортировке и установке, и точечных повреждений из-за ударов камней и корней. Таким образом, существенным конструктивным параметром для ПЭ труб была признана устойчивость к растрескиванию под воздействием внешних факторов, что привело к необходимости разработки полиэтилена средней плотности (ПЭСР).

ПЭСР менее подвержен кристаллизации по сравнению с полиэтиленом высокой плотности первого поколения и обладает повышенной устойчивостью к растрескиванию под напряжением и быстрому распространению трещин. ПЭСР преобладал в производстве ПЭ труб в течение 30 лет, однако его применение ограничивалось предельным уровнем давления – 8 МПа при сроке использования 50 лет. Специалисты искали способы увеличить предельное давление, и в конечном счете в середине 1980-х годов компания

					Анализ способов сварки полиэтиленовых труб при строительстве промышленных трубопроводов	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат		40

Solvay совершила научный прорыв, создав полиэтилен высокой плотности марки PE100, рассчитанный на воздействие давления 10 МПа в течение 50 лет. Данный материал, названный «полиэтиленом третьего поколения», имеет отличную сопротивляемость растрескиванию под напряжением и быстрому распространению трещин.

Основным типом разрушений для находящихся в эксплуатации ПЭ труб является хрупкое растрескивание под напряжением, которому подвергается стенка трубы ввиду образования дефектов из-за концентрации напряжения в зоне сварного соединения. Трещины образуются из микроскопических разрывов и царапин, либо изначально присущих трубе, либо, что более вероятно, полученных из-за повреждения. Хрупкие механические разрушения, как правило, представляют собой щелевые разломы, которые появляются параллельно направлению экструзии трубы. Кольцевое растягивающее напряжение на стенке трубы провоцирует раскрытие трещин. Типичные продольные трещины изображены на рисунке 19.

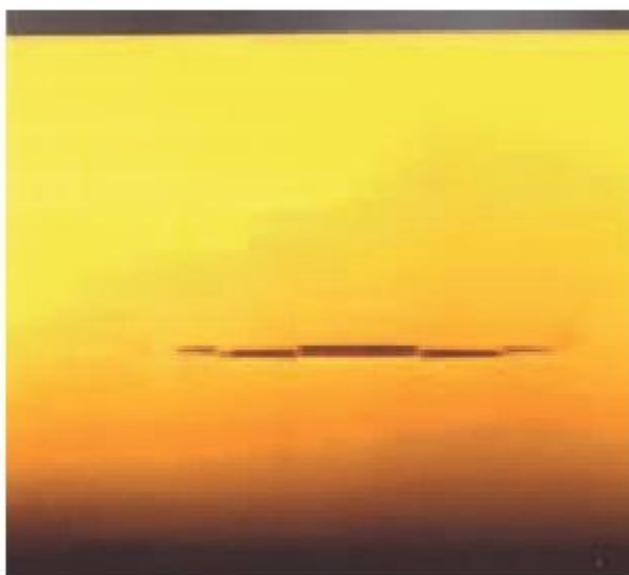


Рисунок 19 – Продольная трещина

В результате вторичных воздействий, например изгиба или удара, на внешней или внутренней поверхности трубы также могут появляться

кольцевые трещины. Визуально трещины хрупкого разрушения, как правило, гладкие, ровные, не имеют следов пластической деформации.

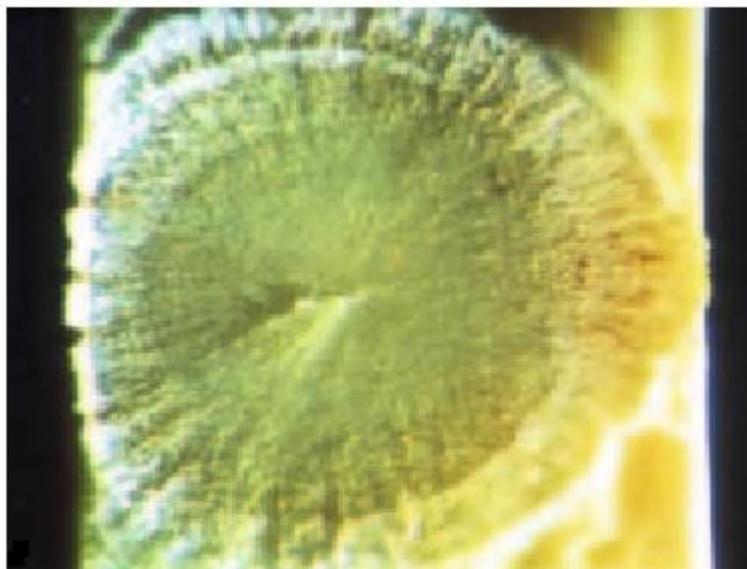


Рисунок 20 – Трещина хрупкого разрушения

Они образуются при концентрациях напряжения в структуре материала, что может быть внутренней трещиной или такими дефектами, как остаточное напряжение, загрязнение, включения или поверхностные царапины. Растрескивание под напряжением также иногда возникает во всех сварных соединениях из-за концентрации напряжения.

4.3 Загрязнение ПЭ соединений

Чистая поверхность без загрязнений – основной и самый важный фактор создания качественного шва между двумя соединяемыми поверхностями. Загрязнение ухудшает целостность сварного соединения, а посторонние включения могут действовать как области концентрации напряжения, что является предпосылкой для растрескивания под напряжением.

Учитывая, что соединение ПЭ труб, как правило, выполняется в полевых условиях, где постоянно присутствует угроза загрязнения, подготовку необходимо проводить с особой тщательностью. В данных обстоятельствах

загрязнение представляется основным предметом внимания при оценке целостности соединения. Ниже перечислены виды загрязнений, которые негативно влияют на целостность ПЭ соединения:

1. Сильные загрязнения, такие как отложения грязи, почвы или смолы на поверхности трубы
2. Незначительные загрязнения, например пыль
3. Жировые или масляные следы, появившиеся от соприкосновения соединяемых поверхностей с загрязненной тканью или руками
4. Окисление поверхности в результате воздействия атмосферного воздуха
5. Эрозия поверхности в результате длительного воздействия ультрафиолетового излучения (например, хранение на улице более 12 месяцев)
6. Влажность или вода на поверхности

Рассмотрим каждый вид загрязнения отдельно.

1. Очевидно, что сильное загрязнение легко заметить и устранить с помощью воды или чистой ткани.
2. Незначительное загрязнение (пыль) труднее обнаружить, однако оно является существенным препятствием для выполнения качественного сварного соединения. Кроме того, летом в сухую погоду пылинки могут легко переноситься ветром и оседать на поверхности трубы или на инструментах, используемых при прокладке труб.
3. Как правило, следы жира или масла появляются при работе с трубами и фитингами на площадке. Грязные перчатки и салфетки или грязные руки могут испачкать соединяемые поверхности, что способно вызвать преждевременное разрушение шва.
4. Окисления поверхности трубы из-за контакта с воздухом избежать невозможно. По этой причине, до того как приступить к сварке, трубу необходимо очистить, чтобы удалить окисленный слой. Существуют

специальные инструменты для очистки поверхности при подготовке ее к соединению. Необходимо удалить очень тонкий слой материала (около 0,2 мм).

5. В Великобритании в рамках испытаний на соответствие требованиям стандарта GIS/PL2 образцы труб в течение 12 месяцев подвергают воздействию погодных условий. По истечении этого периода проводятся тесты, которые должны подтвердить, что погодные факторы не оказали отрицательного влияния на важные для сварки свойства материала. Таким образом, трубы, которые подвергались атмосферным воздействиям в течение более чем 12 месяцев, не подходят для применения, поскольку их свариваемость не была определена.

6. Влажность или вода на поверхности могут стать препятствием для получения качественного сварного шва. Хотя обычно незначительное количество воды испаряется при нагреве, в некоторых случаях вдоль границы соединения появляются пузырьки, что приводит к образованию пор и преждевременному разрушению соединения.

Все технологии сварки требуют принятия надлежащих мер, для того чтобы предотвратить загрязнение сварного соединения и защитить его от воздействия внешней среды. Для этого необходимо обязательно использовать водонепроницаемую подстилку и навесы, как показано на рис. 8. Более того, на трубах должны быть установлены концевые пробки, чтобы избежать попадания воды и защитить от охлаждения ветром, которое может вызвать колебания температуры сварки.

4.4 Разрушения, характерные для стыковой сварки

Типичным разрушением, характерным для сварки встык, является растрескивание под напряжением, возникающее при концентрации напряжения в сварных швах. Вторичные изгибающие напряжения, к которым обычно относятся смещение кромок, неравномерность опор или осей, способствуют

					Анализ способов сварки полиэтиленовых труб при строительстве промышленных трубопроводов	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат		44

распространению трещин вокруг соединения. В результате оно теряет прочность, что приводит к полному разрушению.



Рисунок 21 – Разрушение шва при смещении кромок

Скорость распространения трещин зависит от приложенного усилия и может составлять как несколько недель, так и несколько лет, при этом конечный результат – разрушение всего соединения. Возможные потери газа зависят от давления и диаметра трубы и могут оказаться весьма значительными.

Существует множество производственных факторов, влияющих на качество сварного соединения. Рассматривая каждый фактор в отдельности, можно описать потенциальное повреждение.

4.5 Сварочное давление

Сварочное давление является важным параметром в процессе стыковой сварки, поскольку оно обеспечивает взаимопроникновение расплавов для образования соединения. При слишком высоком давлении весь расплавленный материал будет выдавлен в грат сварного шва, оставив в месте контакта соединяемых поверхностей материал, недостаточно прогретый для качественного сплавления. Слишком низкое давление может привести к

недостаточному смешиванию расплавленного материала – в итоге соединение будет некачественным, с низкой прочностью.

Ранее значения сварочного давления указывали в специальной таблице, которой была снабжена каждая сварочная машина. В обязанности сварщика входило следить за соблюдением правильных параметров давления, указанных для того или иного материала и диаметра труб. Давление создавалось с помощью гидравлического привода с ручным управлением. Для контроля прилагаемого давления использовался манометр.

Неверный выбор уровня давления может быть отнесен к ошибкам сварщика. Он проявляется в увеличении или уменьшении ширины сварочного грата (валик сварного шва). При низком давлении грат будет слишком узким, а при высоком, наоборот, излишне широким.

4.6 Давление протяжки

Давление протяжки – это усилие, которое нужно для того, чтобы перемещать трубы, преодолевая трение в сварочном аппарате. Перед тем как выполнять соединение, трубы помещают в аппарат и перемещают с помощью гидравлического привода. До появления автоматических аппаратов сварщик должен был контролировать показатели манометра и регистрировать давление, необходимое для перемещения труб. Давление протяжки следует устанавливать вместе со сварочным давлением, указанным в паспорте аппарата.

Трубам разного диаметра и разной длины (6 м, 12 м и более), подлежащим перемещению, соответствует разное давление протяжки, поэтому при выполнении шва его надо каждый раз замерять. В некоторых случаях давление протяжки может быть значительно выше фактического сварочного давления, хотя при точной настройке и использовании рольгангов можно перемещать достаточно длинные трубы с приемлемым давлением протяжки.

Неправильное измерение давления протяжки – ошибка сварщика, которая приводит к увеличению или уменьшению размеров валиков сварных швов.

4.7 Температура плавления

Чтобы осуществить сварку ПЭ, температура на поверхностях, подлежащих соединению, должна быть выше температуры плавления материала (140°C). Температура при стыковой сварке составляет 233°C, этого достаточно для плавки материала, но мало, чтобы вызвать термическое разложение. Недостаточная температура плавления приведет к более высокому коэффициенту вязкости плавления, сопротивлению плавлению и молекулярному смешиванию и в конечном счете ненадлежащему качеству сварного шва.

4.8 Овальность трубы

При сварке встык поверхность соединения ограничивается торцами труб, в связи с этим очень важно максимально использовать их площадь. Овальность ПЭ труб обусловлена способом их транспортировки и хранения. Хомуты, которые обычно применяются для захвата труб, позволяют приблизить их форму к круглой, отрегулировав силу зажима на каждой трубе. Овальность трубы, как правило, не рассматривается как серьезная проблема при стыковой сварке, и маловероятно, что она станет причиной преждевременного разрушения соединения, за исключением тех случаев, когда присутствует значительное расхождение в форме труб.

4.9 Подготовка концов трубы (торцовка) и загрязнение

Если зачистка торцов выполнена не полностью, концы труб будут неровными, некоторые участки станут окисляться, на них останутся следы

					Анализ способов сварки полиэтиленовых труб при строительстве промышленных трубопроводов	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат		47

грязи и пыли, при контакте с нагревательным элементом начнут образовываться зазоры, из-за которых теплопередача на концах трубы будет неравномерной. Перед тем как выполнить соединение, сварщик должен полностью зачистить торцы труб.

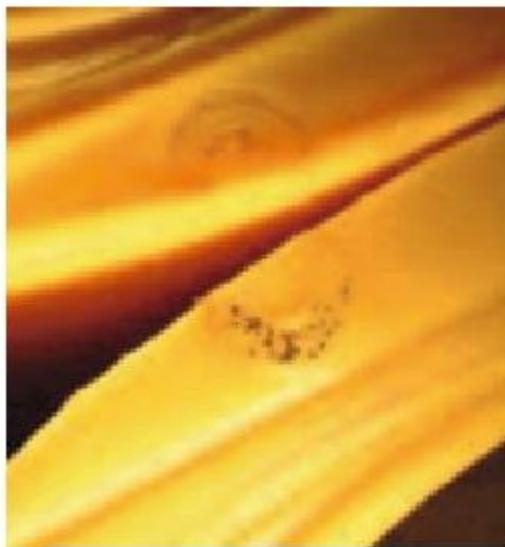


Рисунок 22 – Растрескивание под напряжением в результате загрязнения сварного шва

4.10 Центрирование труб

Центрирование труб влияет на давление протяжки и термический контакт между трубой и нагревательным элементом. Во-первых, если необходимо выполнить соединение длинных труб и при этом для их перемещения или центрирования не используются рольганги, это требует значительного увеличения давления протяжки. Во-вторых, без центрирования фактический вес труб может изогнуть раму сварочного аппарата и тем самым повысить вероятность возникновения зазора между концами труб и верхней частью нагревательного элемента. Каждый из этих

факторов представляет опасность для целостности соединения. Однако некоторая несоосность является неизбежной (до 1 мм для труб диаметром

					Анализ способов сварки полиэтиленовых труб при строительстве промышленных трубопроводов	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат		48

менее 180 мм и 10% толщины стенки – для труб более 180 мм), при этом предполагается, что ширина сварного грата находится в допустимых пределах.

4.11 Время нагрева торцов

Это время, в течение которого торцы трубы контактируют с нагревательным элементом. Если время нагрева будет слишком коротким, расплавленные поверхности не достигнут нужной температуры и при снятии труб с нагревательного элемента быстро остынут. В результате увеличивается степень вязкости расплава, кристаллизация начинает происходить еще до момента соединения, что в конечном счете приводит к неполному сплавлению лишенных какого бы то ни было загрязнения, надлежащим образом центрированных и прекрасно очищенных торцов труб. Такое соединение будет непрочным и при изгибе полностью распадется.



Рисунок 23 – Брак сварного соединения при недостаточном времени плавлении кромок

4.12 Технологическая пауза

Это время, необходимое для снятия нагревательного элемента и состыковки концов трубы. Чем быстрее концы трубы будут состыкованы, тем меньше вероятность того, что расплавленные поверхности успеют остыть. Результат продолжительной задержки при стыковой сварке окажется точно таким же, как и при недостаточном нагреве: из-за неполного сплавления соединение будет непрочным.

4.13 Обеспечение качества и контроль технологического процесса

Так как очень важно обеспечить качество выполнения работ при строительстве ПЭ трубопроводов, большое внимание уделяется подготовке сварщиков и контролю качества работ на объекте. Необходимость этого обусловлена отсутствием неразрушающих методов для проверки качества ПЭ соединений. Ультразвуковые и рентгенографические методы выявляют только существенные дефекты, такие как раковины или загрязнения в ПЭ соединениях. С их помощью нельзя обнаружить мелкие включения, например пыль, или неполное сплавление, в том случае если отсутствует воздушный зазор между поверхностями материала. Нужно, чтобы сварщики прошли обучение по технологиям сварки и получили инструкции по выявлению возможных проблем.

В отсутствие неразрушающих методов испытаний единственным способом проверки является визуальный осмотр. Данный подход позволяет сократить количество производственных дефектов и помогает контролировать процесс сварки. Перечислим некоторые из общепринятых практик.

4.14 Автоматизированная стыковая сварка

Оборудование для автоматизированной стыковой сварки контролирует ряд важных параметров и устраняет потенциальные проблемы, связанные с ошибкой сварщика. Применение технологии автоматизированной стыковой сварки обязательно в системах газоснабжения Великобритании. Тем не менее, качество выполнения таких операций, как центрирование и торцовка труб, невозможно проконтролировать автоматически, а они имеют большое значение для выполнения сварного соединения надлежащего качества. Таким образом, процесс сварки не автоматизирован полностью, и сварщик должен уделить внимание наладке оборудования и подготовке труб к сварке.

Автоматизация предполагает также сбор данных о процессе сварки, необходимых для обеспечения контроля качества.

4.15 Проверка сварочного грата

Существенную информацию можно получить при проверке внешнего валика сварного шва, образовавшегося в процессе стыковой сварки. Метод подробно описывается в стандарте BS EN 12007.



Рисунок 24 – Проверка внешнего валика сварного шва на соответствие стандартам

					Анализ способов сварки полиэтиленовых труб при строительстве промышленных трубопроводов	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат		51

Размеры и форма грата могут свидетельствовать об ошибках, допущенных в процессе сварки, и служат индикатором качества соединения.

В Великобритании для типовых диаметра и SDR ПЭ трубы установлен диапазон размеров грата, определенный в испытаниях сварных соединений в условиях разных температур окружающей среды. Если размер валиков не соответствует установленной величине, то такие швы следует признать ненадежными. Эффективность данной методики была подтверждена в исследовании, которое показало, что более 95% повреждений стыковых швов, зафиксированных до 1985 года, могли быть выявлены в ходе проверки сварного грата в процессе строительства.

4.16 Испытание грата на изгиб

В 1986 году обнаружен ранее неизвестный дефект стыкового соединения. Было установлено, что он образуется вследствие попадания на поверхность шва мелких частиц пыли, принесенных ветром или находившихся на нагревательном элементе. В процессе сварки при формировании соединения расплав несколько смещается, при этом он выталкивает частицы пыли к внешнему и внутреннему грату, оставляя чистое и относительно прочное соединение в центре стенки трубы. Ширина образовавшегося грата окажется в пределах допустимого диапазона, на нем не будет никаких видимых признаков загрязнения. Попавшие внутрь шва частицы пыли препятствуют сплавлению и приводят к возникновению небольшой щели, которая практически незаметна глазу.

					Анализ способов сварки полиэтиленовых труб при строительстве промышленных трубопроводов	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат		52



Рисунок 25 – Образование дефекта в сварном соединении при попадании частиц пыли

При растяжении подобный шов демонстрирует почти такую же прочность, как и качественно выполненное соединение, однако при сгибании щель будет тем местом, откуда начнется растрескивание, причем разрушение станет хрупким. Дальнейшее исследование показало, что любые щели можно обнаружить, если удалить валик при помощи специального инструмента и согнуть его. Дефект проявлялся и в самом стыковом соединении, поэтому в 1987 году для систем газоснабжения Великобритании стало обязательным снимать наружный валик сварного шва, для того чтобы осуществить его дополнительную проверку. Процесс удаления грата при помощи специального инструмента показан на рисунке 26. Кроме того, для очистки термоэлемента от пылевого загрязнения в начале смены или при изменении диаметра и SDR стали использовать пробный шов.



Рисунок 26 - Процесс удаления грата при помощи специального инструмента

Тест на отгибание грата можно применять и для выявления непроваров, которые приводят к расслоению шва. Осмотр нижней стороны грата по всей его длине также позволяет обнаружить случаи загрязнения.

4.17 Разрушающее испытание

По усмотрению ответственного специалиста стыковое соединение (или несколько соединений), выбранное случайным образом, может быть проверено методом разрушающего испытания с целью оценки качества сварного шва и прокладываемого трубопровода. Вырезанные из сварного шва образцы подвергают испытаниям на растяжение в соответствии со стандартом BS ISO 13953.



Рисунок 27 – Испытание на растяжение образца сварного шва

					Анализ способов сварки полиэтиленовых труб при строительстве промышленных трубопроводов	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат		54

Разрыв должен быть вязким, а не хрупким и отвечать следующим критериям:

- прочность на растяжение ПЭ 80 \geq 15 МПа
- прочность на растяжение ПЭ 100 \geq 20 МПа

Некоторые операторы газораспределительных сетей проводят испытания на растяжение в ходе реализации проектов по газификации в очень жестком режиме, требуя проверки до 10% от общего количества сварных швов. Далее, если качество сварных соединений оказывается высоким, число проверок сокращается. Подобный подход очень эффективен с точки зрения контроля качества работ, однако весьма дорог.

4.18 Техническое обслуживание оборудования

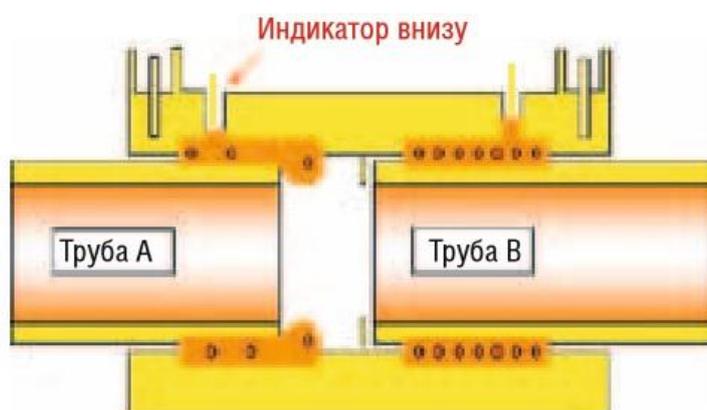
Подобно автомобилю, оборудование, используемое для прокладки ПЭ трубопроводов, требует периодического технического обслуживания, за регулярностью проведения которого обязан следить конечный пользователь. При продаже оборудования производитель должен установить график проведения его технического обслуживания и ремонта. В противном случае возникает риск неправильного формирования швов ПЭ труб или простоев в работе из-за поломки оборудования.

4.19 Электромужфтовая сварка

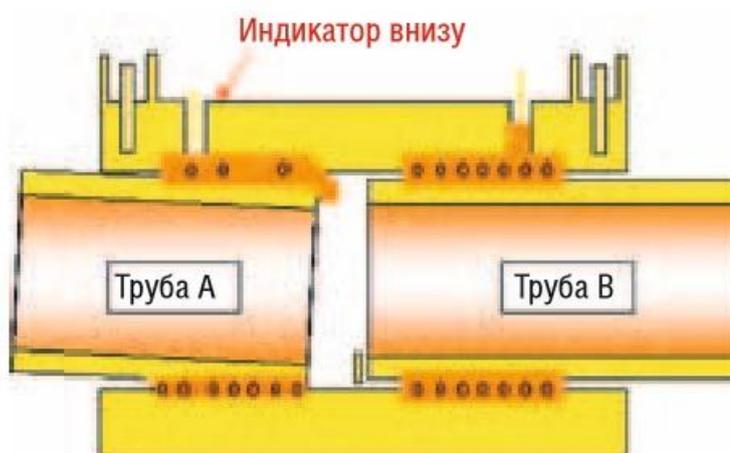
Фитинг для электромужфтовой сварки имеет специальные «холодные зоны», расположенные в центре и со стороны каждого входного отверстия. Когда на фитинг подается напряжение, расплавленная пластмасса собирается в сварном шве у холодных зон и благодаря термическому расширению создается давление, необходимое для взаимопроникновения расплавов и создания прочного сварного соединения. В тех случаях, когда труба не

					Анализ способов сварки полиэтиленовых труб при строительстве промышленных трубопроводов	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат		55

полностью введена в отверстие муфты или не выполнено центрирование, провода обнажаются и расплавленный материал стекает с поверхности шва. Это, в свою очередь, приводит к тому, что провода смещаются в расплаве и в результате могут соприкоснуться друг с другом или спутываться, вызывая тем самым короткое замыкание или локальный перегрев. В конечном счете появляется риск термического разложения, возникновения пор в области сварки или потери потребляемой мощности, из-за чего плавление происходит не полностью. Чтобы предупредить эти неисправности, нужно обеспечить центровку и фиксации трубы в процессе сварки.



а)



б)

Рисунок 28 – Брак сварного соединения электромуфтой при: а) неполном введении трубы в электромуфту; б) невыполненном центрировании

					Анализ способов сварки полиэтиленовых труб при строительстве промышленных трубопроводов	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат		56

Конструкция муфт с закладными электронагревателями предусматривает наличие зазора, позволяющего осуществить сборку и в то же время обеспечивающего достаточное давление расплава. Овальность труб негативно сказывается на постоянстве зазора, поэтому иногда возникает потребность в применении хомутов для восстановления круглой формы трубы. Как показывает опыт, без использования хомутов вероятность возникновения дефектов в сварных швах очень высока. Следовательно, их применение можно считать обязательным.

Дефекты в зоне плавления, возникающие в результате ошибок при монтаже, будут выступать в качестве концентратора напряжений и инициировать дальнейшее растрескивание. Когда сварной шов подвергается внутреннему давлению, значительному смещению или сгибанию, растрескивание под напряжением распространяется по поверхности шва, вызывая тем самым преждевременное разрушение и утечку газа, аналогично утечкам из швов чугунных газопроводов. Преждевременные разрушения швов из-за подобных ошибок при установке являются общераспространенными.

Загрязнение – также важный фактор, который может привести к преждевременному разрушению электросварных швов. Загрязнение обычно появляется на поверхности ПЭ трубы в ходе транспортировки, хранения, эксплуатации и т.п. Тем не менее для получения качественного шва важно не забывать и о состоянии поверхности фитинга.

Фитинги с закладными электронагревателями упаковываются производителями в полиэтиленовые пакеты и коробки. Дополнительно к этому седловидные ответвления снабжены картонным вкладышем, который защищает проволочный нагревательный элемент от повреждения. Однако часто фитинги вынимают из коробок и пакетов и транспортируют на место монтажа уже без упаковки. Это чрезвычайно опасная практика, так как фитинги могут получить загрязнение. В Великобритании существует жесткое правило, согласно которому фитинги должны храниться в своих защитных пакетах – вплоть до момента их установки.

					Анализ способов сварки полиэтиленовых труб при строительстве промышленных трубопроводов	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат		57

Для удаления поверхностного загрязнения и окисленных слоев трубы используется скребок. Неочищенная поверхность не плавится должным образом, и все электросварные швы, выполненные без соответствующей зачистки, с высокой вероятностью разрушатся.

Как правило, для очистки поверхности ПЭ трубы применяется обычный ручной скребок, качество работы в этом случае зависит от навыков персонала. Слой удаляемого материала довольно небольшой (около 0,2 мм). Вместе с тем ручная очистка труб с большим диаметром (≥ 355 мм) утомительна и занимает много времени, в результате окисленные слои могут быть удалены не полностью, а на поверхности шва останутся микротрещины. Существующие инструменты для механической зачистки, как правило, громоздки, сложны в эксплуатации и дороги, поэтому они не получили широкого распространения. Другой проблемой является чрезмерная зачистка труб малого диаметра (16, 20, 25 и 32 мм), что повышает риск возникновения слишком большого зазора между поверхностью трубы и отверстием электросварной муфты.

Скребок необходимо содержать в чистоте, однако известно, что сварщики в процессе работы нередко пользуются тупыми, ржавыми и сильно загрязненными скребками. Все это свидетельствует о недостаточном понимании технологического процесса и несоблюдении технических норм, что в конечном счете подрывает сам принцип электромуфтовой сварки и создает опасность для целостности полиэтиленового трубопровода.



Рисунок 29 – Скребки не пригодные для использования

Трудности, связанные с очисткой, привели к появлению ПЭ труб с защитным покрытием из полипропилена (ПП). Труба изготавливается из неокрашенного полиэтилена 100 и обладает такими же характеристиками, что и труба из обычного окрашенного ПЭ 100. Внешняя ПП оболочка может быть удалена с основной ПЭ трубы путем отслаивания.

Конструкция трубы позволяет контролировать процесс удаления оболочки. При электромужфтовой сварке основной ПЭ трубы зачистка не требуется, что является большим преимуществом, позволяя повысить надежность швов и снизить расходы на монтаж.

Преимущества ПЭ труб с защитным ПП слоем:

- Сокращение количества повреждений поверхности трубы во время транспортировки и монтажа
- Возможность быстро выявить и оценить повреждения поверхности трубы
- Ускорение монтажа трубопровода, в особенности для электромужфтовых соединений, время выполнения которых обычно сокращается вдвое.

Ввиду отсутствия методов неразрушающего контроля специалисты могут прибегнуть только к разрушающим испытаниям швов, с тем чтобы оценить качество сварного соединения и убедиться в надежности прокладываемого трубопровода. Вырезанные из сварных швов образцы подвергают испытаниям на разрыв в соответствии со стандартом BS ISO 13954.



Рисунок 30 – Испытание на разрыв образца из сварного соединения

					Анализ способов сварки полиэтиленовых труб при строительстве промышленных трубопроводов	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат		59

Критерием приемки является вязкий разрыв на границе раздела по длине сварного шва на минимальной длине 66% от видимой длины сварного шва.

На помощь специалистам по контролю качества приходят новые технологии. С использованием специальных камер можно осуществлять дистанционное наблюдение и запись выполнения сварных соединений. Сам факт того, что сварщик будет знать о постоянном контроле, способствует добросовестному выполнению работы.

					<i>Анализ способов сварки полиэтиленовых труб при строительстве промышленных трубопроводов</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дат</i>		60

5 Сварка полиэтиленовых труб в условиях крайнего севера

Сварочные работы полиэтиленовых труб для газопровода могут производиться, согласно нормативным документам, при температуре окружающего воздуха (ОВ) от минус 15 °С до плюс 45 °С. При более широком интервале температур сварочные работы рекомендуется проводить в помещениях (укрытиях), обеспечивающих соблюдение заданного температурного интервала.

В ИПНГ СО РАН предложена методика выбора режимов оплавления полиэтиленовых труб при температурах ОВ ниже нормативных на основе математического моделирования тепловых процессов с учетом теплоты фазового перехода [14]. Методика позволяет увеличением продолжительности контакта нагревательного инструмента и торцов труб при сварке в условиях низких температур получить такое же распределение температуры в сварном соединении, которое бывает при сварке в нормальных условиях. Таким образом, процесс охлаждения начинается практически при одинаковых распределениях температуры в части трубы, где происходят структурные изменения материала трубы.

					Анализ способов сварки полиэтиленовых труб при строительстве промысловых трубопроводов			
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат				
Разраб.		Лось К.К.			Сварка полиэтиленовых труб в условиях крайнего севера	Лит.	Лист	Листов
Руковод.		Веревкин А.В.					61	8
Консульт.						НИ ТПУ гр. 2БМ4Б		
Зав. Каф.		Рудаченко А.В.						

[Redacted text block]

[15].

[Large redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

3) [Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[REDACTED]

Для оценки качества полученных сварных соединений были проведены следующие методы испытаний согласно требованиям СП 42-103-2003 «Проектирование и строительство газопроводов из полиэтиленовых труб и реконструкция изношенных газопроводов» [16]: внешний осмотр, испытание на статический изгиб, испытание на осевое растяжение.

Внешний вид всех сварных соединений, полученных при различных режи-мах сварки, соответствовал критериям оценки внешнего вида соединений, выполненных нагретым инструментом встык. Таким образом, внешний осмотр не позволяет выявить нарушения технологического режима.

Для испытаний на статический изгиб образцы-полоски изготавливались по периметру шва вырезанием по 6 шт. с одного контрольного стыка. Испытания проводились до разрушения или до достижения предела текучести образцов. Для сравнительных целей были найдены напряжения при прогибе образцов в 1,5 толщины полиэтиленовой трубы, а также условная величина предела текучести.

Все испытанные образцы выдержали без разрушения и появления трещин изгиб на угол не менее 160 °, требуемый по нормативному документу. Рекомендуемая СП 42-103-2003 методика испытаний качества сварного соединения также не позволила выявить нарушения технологического режима.

На рисунке 32 приведены величины напряжений образцов со сварным швом, произведенным при температурах ниже нормативных. Сравнительный

					Анализ способов сварки полиэтиленовых труб при строительстве промышленных трубопроводов	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат		63

анализ кривых показывает, что величина максимальных напряжений при заданном изгибе образцов со сварным швом, произведенным по расчетному времени выше, чем максимальные напряжения при заданном изгибе образцов со сварным швом, произведенным по стандартному времени оплавления торцов свариваемых труб.

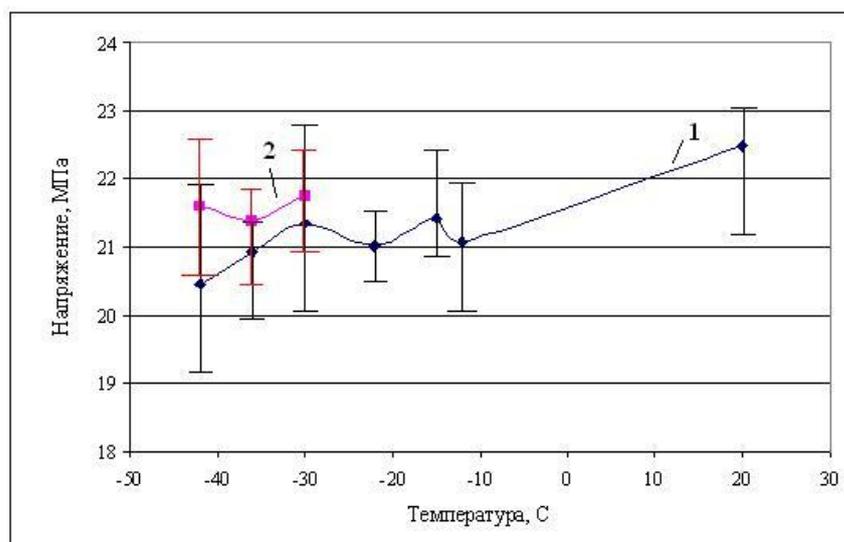


Рисунок 32 – Напряжение при изгибе в 1,5 толщины образцов со сварным швом: 1- время оплавления при сварке 55 с (режимы 1 и 2); 2 - расчетное время оплавления (режим 3)

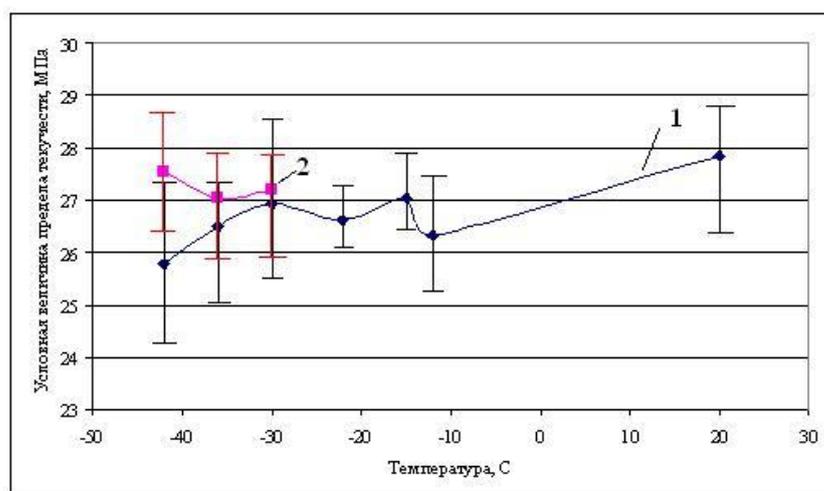


Рисунок 33 – Условная величина предела текучести образцов сварных швов: 1-время оплавления при сварке 55 с (режимы 1 и 2); 2 - расчетное время оплавления (режим 3)

Из рисунка 33, в котором приведены результаты, видно, что условные величины предела текучести образцов со сварным швом, произведенным при низких температурах по расчетному времени выше, чем условные величины предела текучести образцов со сварным швом, произведенным при комнатной температуре. Причем отмечается монотонное снижение на рис. 3 и 4 условных величин максимального напряжения при заданном изгибе и предела текучести образцов со сварным швом, произведенным по расчетному времени при снижении температуры ОВ.

Результаты испытаний также показывают, что исследования условных величин текучести образцов сварочных соединений не позволяют выявить нарушения технологического режима.

Для испытаний на осевое растяжение были изготовлены образцы-лопатки типа 2 по ГОСТ 11262 по 6 штук с каждого сварного соединения. Испытания проводились на универсальной разрывной машине UTS-20К при скорости движения захватов 25 мм/мин при комнатной температуре. По результатам испытаний был составлен протокол механических испытаний, где тип разрушений выявлялся согласно СП 42-103.

					Анализ способов сварки полиэтиленовых труб при строительстве промышленных трубопроводов	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат		65

[Redacted header text]

[Redacted header text]

| [Redacted] |
|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| [Redacted] |
| [Redacted] |
| [Redacted] |
| [Redacted] |
| [Redacted] |
| [Redacted] |
| [Redacted] |
| [Redacted] |
| [Redacted] |

Сварной шов полученный при температуре окружающего воздуха минус 30 °С по технологическому режиму 2 оказался не годным из-за наличия разрушения типа III, имеющего хрупкий характер на одном образце-лопатке и разрушение типа II, имеющего вязкий характер. Шов, произведенный при этой температуре окружающего воздуха по режиму 3, оказался годным; разрушение типа I наступило при достижении относительного удлинения в среднем 155 %, что характеризует высокую пластичность. Шов, произведенный при этой же температуре окружающего воздуха по режиму 4, тоже оказался годным, имея разрушение типа I наступившее при достижении относительного удлинения в среднем 164 %, что характеризует более высокую пластичность.



Рисунок 34 – Разрушенные образцы-лопатки со сварным швом.

Температура ОВ равна минус 30°С, время оплавления - 55 с (режим 2)

Сварной шов, произведенный при температуре окружающего воздуха - 40 °С по режиму 2, оказался не годным из-за наличия двух разрушений типа II, имеющих вязкий характер, что превышает допустимые 20 % для такого типа разрушений. Шов же, произведенный при этой же температуре окружающего воздуха по режиму 3, оказался годным: разрушение типа I наступило при достижении относительного удлинения в среднем 171 %, что характеризует высокую пластичность. Шов, произведенный при этой температуре

окружающего воздуха по режиму 4, тоже оказался годным: разрушение типа I наступило при достижении относительного удлинения в среднем 124 %, что характеризует высокую пластичность.

Таким образом, сварные швы, полученные сваркой встык нагретым инструментом при температурах ОВ минус 30 °С и минус 40 °С по режиму 2 оказались не годными. Сварные швы, произведенные при этих температурах, но по режимам 3 и 4 оказались годными. При этом среднее относительное удлинение образцов - лопаток со швами, охлажденными без камеры, оказалось ниже, чем среднее относительное удлинение образцов-лопаток со швами, охлажденным в камере.

Исследования показывают, что испытания на осевое растяжение позволяют выявить недостаточность продолжительности нагрева. Тем не менее, не позволяют выявить нарушения технологического режима по темпу охлаждения. В этом случае необходимо исследовать длительную прочность соединения.

Исследования сварных соединений полиэтиленовых труб для газопроводов показали, что существующие в нормативных документах методы контроля качества сварных соединений недостаточно информативны и не позволяют адекватно выявить нарушения технологического режима сварки и не могут быть использованы для контроля качества сварных соединений по предлагаемым новым технологическим режимам.

Известно, что при проведении процесса тепловой сварки полиэтиленовых труб структура в зоне шва резко меняется. От режима охлаждения расплава зависит зарождение и рост кристаллических образований [17]. Поэтому, для контроля качества сварных соединений наиболее информативными, вероятнее всего, будут структурные методы исследования физико-механических свойств.

6 Расчетная часть

Для гидравлического расчета рассматривается трубопровод марки ПЭ 100 наружным диаметром $D=0,315$ м, толщина стенки $\delta=0,0286$ м, длиной $L=20$ км, начальное давление $P_0=1$ МПа, перепад высот на рассматриваемом участке $\Delta Z=4$ м, $\Delta=0,01$ мм. Параметры перекачиваемого газа: объем перекачиваемого газа $G=170$ млн. кг/год, вязкость $\mu=12 \cdot 10^{-6}$ Па·с, плотность газа $\rho=35$ кг/м³.

Решение:

1) Необходимо определить подачу по формуле:

$$Q = \frac{G}{\rho}; \quad (2)$$

$$Q = \frac{170 \cdot 10^6}{365 \cdot 24 \cdot 3600 \cdot 35} = 0,154 \left(\frac{\text{м}^3}{\text{с}} \right).$$

2) Определяют скорость перекачки по формуле:

$$V = \frac{Q}{S}; \quad (3)$$

где S – площадь сечения трубопровода.

$$S = \frac{\pi \cdot (D - 2 \cdot \delta)^2}{4}; \quad (4)$$

$$S = \frac{\pi \cdot (0,315 - 2 \cdot 0,0286)^2}{4} = 0,052 \text{ (м}^2\text{)}.$$

Скорость перекачки составляет:

$$V = \frac{0,154}{0,052} = 2,96 \left(\frac{\text{м}}{\text{с}} \right).$$

					<i>Анализ способов сварки полиэтиленовых труб при строительстве промысловых трубопроводов</i>			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дат</i>				
<i>Разраб.</i>		<i>Лось К.К.</i>			Расчетная часть	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Руковод.</i>		<i>Веревкин А.В.</i>					69	2
<i>Консульт.</i>								
<i>Зав. Каф.</i>		<i>Рудаченко А.В.</i>				НИ ТПУ гр. 2БМ4Б		

3) Находим число Рейнольдса:

$$Re = \frac{V \cdot d \cdot \rho}{\mu}; \quad (5)$$

$$Re = \frac{2,96 \cdot 0,2578 \cdot 35}{12 \cdot 10^{-6}} = 2225673.$$

4) Определяем коэффициент гидравлического сопротивления:

$$\lambda = 0,067 \cdot (158/Re + (2 \cdot \Delta)/d)^{0,2}; \quad (6)$$

$$\lambda = 0,067 \cdot (158/2225673 + (2 \cdot 0,01)/257,8)^{0,2} = 0,0115.$$

5) Определяем потери напора на трение:

$$h_{\text{пот}} = \lambda \cdot \frac{L \cdot V^2}{2 \cdot g \cdot d}; \quad (7)$$

$$h_{\text{пот}} = 0,0115 \cdot \frac{20000 \cdot 2,96^2}{2 \cdot 9,81 \cdot 0,2578} = 398,4 \text{ (м)}.$$

6) Определяем давление в конце участка по формуле:

$$\frac{P_0}{\rho \cdot g} + Z_1 = \frac{P_k}{\rho \cdot g} + Z_2 + h; \quad (8)$$

$$P_k = P_0 + \Delta Z \cdot \rho \cdot g - h \cdot \rho \cdot g; \quad (9)$$

$$P_k = 10^6 + 4 \cdot 35 \cdot 9,81 - 398,4 \cdot 35 \cdot 9,81 = 864583 \text{ (Па)} = 0,865 \text{ (МПа)}.$$

Потеря давления определяется по формуле:

$$\Delta P = P_0 - P_k; \quad (10)$$

$$\Delta P = 1 - 0,865 = 0,135 \text{ (МПа)}.$$

В ходе проведенных расчетов было установлено, что на рассматриваемом участке газопровода потери напора составляют 398,4 м, а потеря давления составляет 0,135 МПа.

					Анализ способов сварки полиэтиленовых труб при строительстве промышленных трубопроводов	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат		70

7 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Так как целью магистерской диссертации является анализ существующих технологий сварки полиэтиленового трубопровода с целью выявления наиболее выгодного и надежного способа, то в данной главе необходимо рассчитать способы сварки с экономической точки зрения. Экономия денежных средств имеет немало важный факт, для этого необходимо произвести расчеты. На примере рассмотрим затраты на сварку 1 километра полимерных труб марки ПЭ1011315Г, диаметром 315 мм, толщиной стенки 28,6 мм и длиной одного сектора 13 м, двумя способами и сравним их.

7.1 Расчет затрат при стыковом методе сварки

7.1.1 Расчет времени сварки стыковым методом

Определим нормы времени для стыковой сварки полимерных труб. Время на проведение мероприятия включает в себя все этапы стыковой сварки, погрузку-разгрузку оборудования и перевоз оборудования на место следующего стыка.

Количество необходимых секций рассчитывается по формуле:

$$K = L_{\text{общ}}/L_{\text{сект}}; \quad (11)$$

где: $L_{\text{общ}}$ - длина всего трубопровода, м;

$L_{\text{сект}}$ - длина одной секции трубопровода, м;

$$K = 1000/13 = 77,9;$$

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат	Анализ способов сварки полиэтиленовых труб при строительстве промышленных трубопроводов		
Разраб.		Лось К.К.			Лит.	Лист	Листов
Руковод.		Вережкин А.В.				71	16
Консульт.					НИ ТПУ гр. 2БМ4Б		
Зав. Каф.		Рудаченко А.В.					
					Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение		

Так как количество необходимых секций должно быть целым числом, то получившийся ответ округляем в большую сторону до целого числа. Следовательно, применяем число $N = 78$.

Время нагрева и плавления полиэтиленовых труб рассчитывается по формуле:

$$T_{\text{плав}} = S * 10 = 28,6 * 10 = 286 \text{ сек};$$

где S – толщина стенки трубопровода, мм.

Согласно справочнику «Единые нормы и расценки на строительные, монтажные и ремонтно-строительные работы. Сборник Е9 [18], время на выполнение мероприятия представлено в таблице 4.

Таблица 4 – Время на выполнение мероприятия при сооружении трубопровода с применением стыковой сварки

№ п/п	Операция	Время, мин	Общее время, мин
1	Разгрузка оборудования	10	770
2	Подключение гидравлического привода к сети и установка к нему центратора	4	308
3	Подключение торцевателя и нагревательного элемента к сети	4	308
4	Проверка овальности труб, соответствия SDR и толщины стенок	2	154
5	Установка труб в центратор	10	770
6	Отчистка труб от грязи, песка и воды	4	154
7	Установка торцевателя	10	770
8	Процесс торцовки труб	3	231
9	Проверка торцов трубы по величине зазора	1	77
10	Отчистка торцов труб спиртом или специальным обезжиривающим средством	4	308
11	Установка нагревательного элемента	2	154
12	Плавление и нагрев труб	5	385
13	Вывод нагревательного элемента	0,25	19,25
14	Процесс сварки	0,3	23,1

15	Охлаждение стыка	0,5	38,5
16	Визуальная оценка сварного шва	1	77
17	Извлечение сваренных труб из центратора	10	770
18	Отключение оборудования от сети и гидравлического привода	8	616
19	Погрузка оборудования в транспорт	10	770
20	Перевоз оборудования на место следующего стыка	5	385
Итого:		94,05 мин	7241,85 мин -121 часов

Время на выполнение мероприятия будет равно:

$$T = 121 \text{ (ч).}$$

7.1.2 Расчет затрат на оборудование и его амортизация

Для данного расчета будет применяться комплект сварочного оборудования ССПТ-315М. В состав этого комплекта входят такие необходимые приспособления как: центратор, нагревательный элемент, торцеватель и гидравлический привод.

Таблица 5 – Затраты на оборудование при сооружении трубопровода с применением стыковой сварки

№ п/п	Наименование	Кол-во, шт	Цена за шт, руб	Цена, руб
1	Центратор	1	134000	134000
2	Нагревательный элемент	1	58000	58000
3	Торцеватель	1	29000	29000
4	Гидравлический привод	1	174000	174000
	Итого			395000

Расчет амортизационных отчислений на оборудование для сооружения трубопровода с применением стыкового способа сварки представлен в таблице 6.

Таблица 6 – Расчет амортизационных отчислений на оборудование для сооружения трубопровода с применением стыкового способа сварки

Объект	Стоимость руб.	Норма амортизации %	Норма амортизации и в год, руб.	Норма амортизации и в час, руб.	Кол-во	Время работы, час.	Сумма амортизации, руб.
Центратор	134000	10	13400	1,5	1	121	181,5
Нагревательный элемент	58000	10	5800	0,66	1	121	79,86
Торцеватель	29000	10	2900	0,3	1	121	36,3
Гидравлический привод	174000	10	17400	2	1	121	242
Итого							539,6

Таким образом затраты на оборудование при сооружении трубопровода с применением стыковой сварки составляют 395000 рублей.

7.1.3 Расчет затрат на необходимую технику и ее амортизация

В процессе сооружения трубопровода потребуется 1 единица техники: АРОК (агрегат ремонта и обслуживания станков-качалок с краном-манипулятором). Он необходим для установки краном-манипулятором труб в позиционер. В качестве такого агрегата был выбран АРОК-3938 на базе «УРАЛ», являющийся высоко проходимым, что является одним из важнейших условий при выборе техники для сооружения трубопровода в полевых условиях. Вместительность такого агрегата составляет до 6 человек, что позволяет обходиться без дополнительной техники для доставки персонала к месту выполнения работ.

Амортизационные затраты определяются, исходя из балансовой стоимости основных производственных фондов и нематериальных активов и утвержденных в установленном порядке норм амортизации, учитывая ускоренную амортизацию их активной части. Нормы амортизации для агрегата «АРОК» выбираем согласно единым нормам амортизационных отчислений на полное восстановление основных фондов народного хозяйства СССР (утв. постановлением СМ СССР от 22 октября 1990 г. N 1072) [19].

Расчет амортизационных отчислений при сооружении трубопровода с применением стыкового способа сварки представлен в таблице 7.

Таблица 7 – Расчет амортизационных отчислений на технику при сооружении трубопровода с применением стыкового способа сварки

Объект	Стоимость руб.	Норма амортизации %	Норма амортизации в год, руб.	Норма амортизации в час, руб.	Кол-во	Время работы, час.	Сумма амортизации, руб.
АРОК-3938	5590000	10	559000	63,81	1	121	7721,01
Итого	7721,01						

Таким образом, амортизация на необходимую технику при сооружении трубопровода с применением стыковой сварки составляют 7721,01 рублей.

7.1.4 Расчет затрат на расходные материалы

Расходным материалом при сварке стыковым методом является полиэтиленовые трубы и дизельное топливо для необходимой техники. Цена всего полиэтиленового трубопровода рассчитывается по формуле:

$$F_{\text{пр}} * L_{\text{общ}} = F_{\text{об}}; \quad (12)$$

где $F_{\text{пр}}$ – цена одного погонного метра, руб;

$L_{\text{общ}}$ – общая длина трубопровода, м.

Тогда цена всего трубопровода будет составлять:

$$2489 * 1000 = 2489000 \text{ руб.}$$

Агрегат АРОК необходим на протяжении всего времени сооружения трубопровода, т.е. 121 часов. Затраты на топливо для агрегата приведены в таблице 8.

Таблица 8 – Затраты на топливо для агрегата при сооружении трубопровода с применением стыковой сварки

	АРОК-3938
Время работы (ч)	121
Количество единиц техники	1
Расход топлива (л)	3630
Стоимость 1 л. дизельного топлива (руб)	36
Затраты на дизельное топливо (руб)	130680
Итого (руб):	130680

Таблица 9 – Затраты на расходные материалы при сооружении трубопровода с применением стыковой сварки

№ п/п	Наименование	Количество, шт	Цена, руб	Сумма, руб
1	Полиэтиленовая труба	1000	2489	2489000
2	Затраты на дизельное топливо			130680
Итого:				2619680

Таким образом, затраты на расходные материалы при сооружении трубопровода с применением стыковой сварки составляют 2619680 рублей.

7.1.5 Расчет затрат на оплату труда

К расходам на оплату труда относятся:

- суммы, начисленные по тарифным ставкам, должностным окладам, сдельным расценкам или в процентах от выручки от реализации продукции (работ, услуг) в соответствии с принятыми на предприятии (организации) формами и системами оплаты труда;
- надбавки по районным коэффициентам, за работу в районах крайнего Севера и др.

Таблица 10 – Расчет заработной платы при сооружении трубопровода с применением стыковой сварки

Профессия	Разряд	Количество	Тарифная ставка, руб./час	Время на проведение мероприятия, ч.	Тарифный фонд ЗП, руб.	Сев. и рай. коэф. 50%+70%	Заработная плата с учетом надбавок, руб.
Мастер	8	1	165	121	19961	23953	43914
Сварщик	7	2	125	121	30250	36300	66550
Водитель	5	1	104	121	12584	15101	27685
Итого							138149

Таким образом, затраты на оплату труда при сооружении трубопровода с применением стыковой сварки составляют 138149 рублей.

7.1.6 Расчет затрат на страховые взносы

Затраты на страховые взносы в пенсионный фонд, фонд социального страхования, фонд обязательного медицинского страхования и обязательного социального страхования от несчастных случаев на производстве при сооружении трубопровода с применением стыкового способа сварки представлены в таблице 11.

Рассчитывая затраты на страхование от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний, выбираем класс VIII с тарифом 0,9 для Производства общестроительных работ по прокладке магистральных трубопроводов, линий связи и линий электропередачи (код по ОКВЭД – 45.21.3) [20].

Таблица 11 – Расчет страховых взносов при сооружении трубопровода с применением стыковой сварки

Показатель	Мастер	Сварщик 7 разряда	Крановщик
Количество работников	1	2	1
ЗП, руб.	43914	66550	27685
ФСС (2,9%)	1273,5	1929,9	802,9
ФОМС (5,1%)	2239,6	3394,1	1411,9
ПФР (22%)	9661,1	14641	6090,7
Страхов-ие от несчаст. случаев (тариф 0,9%)	395,2	598,9	249,2
Всего, руб.	13568,4	20563	8554,7
Общая сумма, руб.	42686,1		

Таким образом, затраты на страховые взносы при сооружении трубопровода с применением стыковой сварки составляют 42686,1 рублей.

7.2 Расчет затрат методом сварки электромуфтой

7.2.1 Расчет времени электромуфтовой сварки

Определим нормы времени для электромуфтовой сварки полимерных труб. Время на проведение мероприятия включает в себя все этапы электромуфтовой сварки, погрузку-разгрузку оборудования и перевоз оборудования на место следующего стыка.

Количество необходимых секций рассчитывается по формуле:

$$K = \frac{L_{\text{общ}}}{L_{\text{сект}}},$$

где: $L_{\text{общ}}$ - длина всего трубопровода, м;

$L_{\text{сект}}$ – длина одной секции трубопровода, м.

$$K = 1000/13 = 77,9.$$

Так как количество необходимых секций должно быть целым числом, то получившийся ответ округляем в большую сторону до целого числа. Следовательно, применяем число $N = 78$.

Согласно справочнику «Единые нормы и расценки на строительные, монтажные и ремонтно-строительные работы. Сборник Е9», время на выполнение мероприятия представлено в таблице 12.

Таблица 12 – Время на выполнения мероприятия при сооружении трубопровода с применением электромuffтовой сварки

№ п/п	Операция	Время, мин	Общее время, мин
1	Разгрузка оборудования	10	385
2	Подключение сварочного блока к сети	4	154
3	Отчистка труб от грязи и песка	5	154
4	Проверка овальности и совпадения диаметра труб	2	154
5	Обработка краев поверхности труб зачистным инструментом	5	154
6	Обработка поверхности обезжиривающим раствором	4	154
7	Установка электромuffты	10	385
8	Установка труб в позиционер	5	385
9	Подключение электромuffты к сварочному блоку	4	77
10	Процесс сваривания	5	385
11	Отключение электромuffты от сварочного блока	4	77
12	Остывание электромuffты	20	1540
13	Извлечение сваренных труб из позиционера	5	385
14	Визуальная оценка соединения	1	77

15	Отключение сварного блока от сети	4	154
16	Погрузка оборудования в транспорт	10	385
17	Перевоз оборудования на место следующего стыка	5	154
Итого:		103 мин	7931 мин -133 часов

Время на выполнение мероприятия будет равно:

$$T = 133 \text{ (ч)}.$$

7.2.2 Расчет затрат на оборудование и его амортизация

Для данного расчета будет применяться комплект электромужфтового аппарата Elektra 315. В состав этого комплекта входят такие необходимые приспособления как: основной сварочный блок, адаптер для подключения к муфтам, оптический сканер и ручной скребок.

Таблица 13 – Затраты на оборудование при сооружении трубопровода с применением электромужфтовой сварки

№ п/п	Наименование	Цена, руб
1	Сварочный блок	93800
2	Адаптер для подключения к муфтам	18200
3	Оптический сканер	29000
4	Ручной скребок	7000
	Итого	148000

Расчет амортизационных отчислений на оборудование для сооружения трубопровода с применением электромужфтового способа сварки представлен в таблице 14.

Таблица 14 – Расчет амортизационных отчислений на оборудование для сооружения трубопровода с применением электромуфтового способа сварки

Объект	Стоимость руб.	Норма амортизации %	Норма амортизации в год, руб.	Норма амортизации в час, руб.	Кол-во	Время работ, час.	Сумма амортизации, руб.
Сварочный блок	93800	10	9380	1,1	1	133	146,3
Адаптер для подключения к муфтам	18200	10	1820	0,2	1	133	26,6
Оптический сканер	29000	10	2900	0,3	1	133	39,9
Ручной скребок	7000	10	700	0,1	1	133	13,3
Итого							226,1

Таким образом затраты на оборудование при сооружении трубопровода с применением электромуфтовой сварки составляют 148000 рублей.

7.2.3 Расчет затрат на необходимую технику и ее амортизация

В процессе сооружения трубопровода потребуется 1 единица техники: АРОК (агрегат ремонта и обслуживания станков-качалок с краном-манипулятором). Он необходим для установки краном-манипулятором труб в позиционер. В качестве такого агрегата был выбран АРОК-3938 на базе «УРАЛ», являющийся высокопроходимым, что является одним из важнейших условий при выборе техники для сооружения трубопровода в полевых условиях. Вместительность такого агрегата составляет до 6 человек, что позволяет обходиться без дополнительной техники для доставки персонала к месту выполнения работ.

Амортизационные затраты определяются, исходя из балансовой стоимости основных производственных фондов и нематериальных активов и утвержденных в установленном порядке норм амортизации, учитывая ускоренную амортизацию их активной части. Нормы амортизации для агрегата «АРОК» выбираем согласно единым нормам амортизационных отчислений на

полное восстановление основных фондов народного хозяйства СССР (утв. постановлением СМ СССР от 22 октября 1990 г. N 1072).

Расчет амортизационных отчислений при сооружении трубопровода с применением электромужфтовой сварки представлен в таблице 15.

Таблица 15 – Расчет амортизационных отчислений на технику при сооружении трубопровода с применением электромужфтовой сварки

Объект	Стоимость руб.	Норма амортизации %	Норма амортизации в год, руб.	Норма амортизации в час, руб.	Кол-во	Время работы, час.	Сумма амортизации, руб.
АРОК-3938	5590000	10	559000	63,81	1	133	8487,1
Итого							8487,1

Таким образом, амортизация на необходимую технику при сооружении трубопровода с применением электромужфтовой сварки составляют 8487,1рублей.

7.2.4 Расчет затрат на расходные материалы

Расходными материалами при сварке электромужфтовым методом является полиэтиленовые трубы, электромужфты и топливо для необходимой техники. Цена всего полиэтиленового трубопровода рассчитывается по формуле:

$$F_{\text{пр}} * L_{\text{общ}} = F_{\text{об}};$$

где $F_{\text{пр}}$ – цена одного погонного метра, руб;

$L_{\text{общ}}$ – общая длина трубопровода, м.

Тогда цена всего трубопровода будет составлять:

$$2489 * 1000 = 2489000 \text{ руб.}$$

Количество необходимых электромуфт будет соответствовать количеству стыков, которое рассчитывается по формуле:

$$M = N - 1,$$

где N – количество необходимых секций.

$$M = 78 - 1 = 77;$$

Агрегат АРОК необходим на протяжении всего времени сооружения трубопровода, т.е. 133 часов. Затраты на топливо для агрегата приведены в таблице 16.

Таблица 16 – Затраты на топливо для агрегата при сооружении трубопровода с применением электромуфтовой сварки

	АРОК-3938
Время работы (ч)	133
Количество единиц техники	1
Расход топлива (л)	3990
Стоимость 1 л. дизельного топлива (руб)	36
Затраты на дизельное топливо (руб)	143640
Итого (руб):	143640

Таблица 17 – Затраты на расходные материалы при сооружении трубопровода с применением электромуфтовой сварки

№ п/п	Наименование	Количество, шт	Цена, руб	Сумма, руб
1	Электромуфта	77	6000	462000
2	Полиэтиленовая труба	1000	2489	2489000
3	Затраты на дизельное топливо			143640
Итого:				3094640

Таким образом, затраты на расходные материалы при сооружении трубопровода с применением электромуфтовой сварки составляют 3094640 рублей.

7.2.5 Расчет затрат на оплату труда

К расходам на оплату труда относятся:

- суммы, начисленные по тарифным ставкам, должностным окладам, сдельным расценкам или в процентах от выручки от реализации продукции (работ, услуг) в соответствии с принятыми на предприятии (организации) формами и системами оплаты труда;
- надбавки по районным коэффициентам, за работу в районах крайнего Севера и др.

Таблица 18 – Расчет заработной платы при сооружении трубопровода с применением электромуфтовой сварки

Профессия	Разряд	Количество	Тарифная ставка, руб./час	Время на проведение мероприятия, ч.	Тарифный фонд ЗП, руб.	Сев. и рай. коэф. 50%+70%	Заработная плата с учетом надбавок, руб.
Мастер	8	1	165	133	21945	26334	48279
Сварщик	7	2	125	133	33250	39900	73150
Водитель	5	1	104	133	13832	16598,4	30430,4
Итого							151859,4

Таким образом, затраты на оплату труда при сооружении трубопровода с применением электромуфтовой сварки составляют 151859,4 рублей.

7.2.6 Расчет затрат на страховые взносы

Затраты на страховые взносы в пенсионный фонд, фонд социального страхования, фонд обязательного медицинского страхования и обязательного социального страхования от несчастных случаев на производстве при сооружении трубопровода с применением электромуфтовой сварки представлены в таблице 19. Рассчитывая затраты на страхование от несчастных

случаев на производстве и профессиональных заболеваний, выбираем класс VIII с тарифом 0,9 для Производства общестроительных работ по прокладке магистральных трубопроводов, линий связи и линий электропередачи (код по ОКВЭД – 45.21.3)

Таблица 19 – Расчет страховых взносов при сооружении трубопровода с применением электродуговой сварки

Показатель	Мастер	Сварщик 7 разряда	Крановщик
Количество работников	1	2	1
ЗП, руб.	48279	73150	30430,4
ФСС (2,9%)	1400,1	2121,4	882,5
ФОМС (5,1%)	2462,2	3730,7	1551,9
ПФР (22%)	10621,4	16093	6694,6
Страхов-ие от несчаст. случаев (тариф 0,9%)	434,5	638,3	273,9
Всего, руб.	14918,2	22603,4	9402,9
Общая сумма, руб.	46924,5		

Таким образом, затраты на страховые взносы при сооружении трубопровода с применением электродуговой сварки составляют 46924,5 рублей.

7.3 Расчет затрат на проведение мероприятий

На основании вышеперечисленных расчетов затрат определяется общая сумма затрат на проведение организационно-технического мероприятия (Таблица 20).

Таблица 20 – Затраты на проведение организационно – технического мероприятия

№ п/п	Состав затрат	Сумма затрат, руб	
		Стыковая сварка	Электромурфтова я сварка
1	Затраты на оборудование	395000	148000
2	Амортизация на оборудование	539,6	226,1
3	Амортизация на технику	7721	8487,1
4	Затраты на расходные материалы	2619680	3094640
5	Оплата труда	138149	151859,4
6	Страховые взносы	42686,1	46924,5
7	Накладные расходы (20%)	640755,14	690027,42
8	Итого	3844530,84	4140164,52

Таким образом, по результатам расчетной работы было выяснено, что при использовании стыкового метода сварки в сравнении с использованием электромурфтового способа сварки экономическая выгода составляет 295633,68 рублей.

8 Социальная ответственность при сооружении промышленного трубопровода стыковым и электромuffтовым способами сварки

Социальная ответственность – ответственность перед людьми и данными им обещаниями (обязательствами), Это самое распространенное понимание ответственности, и при строгом рассмотрении любые другие виды ответственности являются формой социальной ответственности [21].

При проведении работ по сооружению полиэтиленового трубопровода присутствуют опасные и вредные производственные факторы, которые могут привести к ухудшению состояния здоровья или смерти рабочих, поэтому необходимо предусматривать мероприятия для защиты от них.

Промысловый трубопровод, эксплуатируемый в районе Крайнего Севера, подвергается дополнительным нагрузкам вследствие особенностей климата данного района. В зимнее время температура окружающего воздуха может опускаться до – 45 °С, а летом до + 25 °С, что не соответствует нормам эксплуатации сварочного оборудования (от -15°С до +40°С), вследствие чего возможно возникновения аварийной ситуации. Поэтому работы по сооружению промышленного трубопровода предпочтительнее проводить в летнее время.

8.1 Профессиональная социальная безопасность

Для анализа опасных и вредных факторов при сооружении и эксплуатации промышленного трубопровода в районе Крайнего Севера, а также их систематизации в нормативной документации была составлена таблица 21.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат	Анализ способов сварки полиэтиленовых труб при строительстве промышленных трубопроводов			
Разраб.		Лось К.К.			Социальная ответственность при сооружении промышленного трубопровода стыковым и электромuffтовым способами сварки	Лит.	Лист	Листов
Руковод.		Веревкин А.В.					87	16
Консульт.						НИ ТПУ гр. 2БМ4Б		
Зав. Каф.		Рудаченко А.В.						

Таблица 21 – Основные элементы производственного процесса, формирующие опасные и вредные факторы при выполнении работ по сооружению промышленного трубопровода

Наименование видов работ	Факторы (ГОСТ 12.0.003-74 ССБТ с измен. 1999 г.)		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	
1	2	3	4
Земляные работы; Подъем, укладка трубопровода в траншею; Сварочно-монтажные работы; Испытание трубопровода.	1. Отклонение показателей климата на открытом воздухе; 2. Превышение уровня шумов; 3. Повышенное содержание вредных веществ в рабочей зоне.	1. Электрический ток; 2. Пожаро- и взрывоопасность; 3. Движущиеся машины и механизмы производственного оборудования (в т.ч. грузоподъемные).	ГОСТ 12.1.003-83 [22] ГОСТ 12.1.004-91 [23] ГОСТ 12.3.003-86 [24] ГОСТ 12.3.004-75 [25] ГОСТ 12.3.032-84 [26] ГОСТ 12.0.003-74 [27] ГОСТ 12.1.005-88 [28] ГОСТ 12.1.010-76 [29]

8.1.1 Анализ вредных производственных факторов и обоснование мероприятий по их устранению

Вредными производственными факторами называются факторы, отрицательно влияющие на работоспособность или вызывающие профессиональные заболевания и другие неблагоприятные последствия [27].

1. Отклонение показателей климата на открытом воздухе

Климат представляет комплекс физических параметров воздуха, влияющих на тепловое состояние организма. К ним относят температуру, влажность, скорость движения воздуха, интенсивность радиационного излучения солнца, величину атмосферного давления.

При выполнении работ по сооружению полиэтиленового трубопровода обслуживающему персоналу приходится работать под воздействием солнечных

лучей, сильном ветре, при атмосферных осадках, в условиях высоких температур (до плюс 40 °С).

Профилактика перегревания осуществляется организацией рационального режима труда и отдыха путем сокращения рабочего времени для введения перерывов для отдыха в зонах с нормальным микроклиматом. От перегрева головного мозга предусматривают головные уборы, средства индивидуальной защиты.

Так как работы по сооружению промышленного трубопровода проводятся в летнее время, то для безопасного проведения работ рабочим необходимо обеспечить соответствующими средствами индивидуальной защиты, в которые входят: комплект огнеупорной одежды (комбинезон, куртка), кепка (для снижения вероятности солнечного удара), перчатки, обувь.

В летнее время года преобладает большое количество гнуса и клещей, для защиты от которых всем рабочим должны выдать специальный энцефалитный костюм. Также, для защиты от комаров и других мелких насекомых, рабочим во время производства работ необходимо обеспечить соответствующими распылительными репеллентами.

2. Превышение уровня шумов

Действие шума на человека определяется влиянием на слуховой аппарат и многие другие органы, в том числе и на нервную систему.

При сооружении промышленного трубопровода с применением стыковой и электродуговой сварки используют следующие виды техники: кран-манипулятор, Агрегат ремонта станков-качалок "АРОК"

Их работа сопровождается большим количеством шума, который, при длительном воздействии, может принести работнику дискомфорт или вред слуху. В некоторых случаях у работника могут развиваться такие болезни, как: шумовая болезнь, сердечно-сосудистая недостаточность. Длительное действие шума > 85 дБ в соответствии с нормативными документами СН 2.2.4/2.1.8.562-

					Анализ способов сварки полиэтиленовых труб при строительстве промышленных трубопроводов	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат		89

96 [30] и ГОСТ 12.1.003-83 [22], приводит к постоянному повышению порога слуха, к повышению кровяного давления.

К основным методам борьбы с шумом можно отнести:

- снижение шума в источнике (применение звукоизолирующих средств);
- средства индивидуальной защиты (СИЗ): наушники;
- соблюдение режима труда и отдыха;
- использование средств автоматики для управления технологическими процессами.

3. Повышенное содержание вредных веществ в рабочей зоне

Перед началом работ в месте нахождения промышленного трубопровода переносным газоанализатором АНТ-2М проверяется уровень загазованности воздушной среды. При этом содержание паров нефти и газов не должно превышать предельно-допустимой концентрации по санитарным нормам согласно таблице 22. Работа разрешается только после устранения опасных условий. В процессе работы следует периодически контролировать загазованность, а в случае превышения ее предельных значений необходимо приостановить все работы до момента, когда уровень загазованности примет допустимое значение.

Защита органов зрения осуществляется с помощью различных предохранительных очков.

Защита органов дыхания обеспечивается применением различного рода респираторов и противогазов.

Респираторы служат для защиты легких человека от воздействия взвешенной в воздухе пыли, противогазы - для защиты от газов и вредных паров.

В зависимости от содержания кислорода в воздухе применяются следующие противогазы:

- фильтрующие - при содержании кислорода в воздухе свыше 19 %.

					Анализ способов сварки полиэтиленовых труб при строительстве промышленных трубопроводов	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат		90

Обслуживающий персонал установки обеспечивается противогазами с марками коробок БКФ, возможно применение коробок марки «А»;

➤ шланговые - применяются при содержании кислорода в воздухе менее 20 % при наличии в воздухе больших концентраций вредных газов (свыше 0,5 % об.) [31].

Таблица 22 - Предельно допустимые концентрации вредных веществ в воздухе рабочей зоны[32]

Вещества	Предельно допустимая концентрация, мг/м ³	Класс опасности
Углеводороды C ₁ – C ₁₀	300	4
Оксид углерода (CO)	20	4
Диоксид азота (NO ₂)	2	2
Диоксид серы (SO ₂)	10	3
Сажа	4	3
Ацетальдегид	5	3
Органические кислоты	5	3
Оксид углерода	20	4
Аэрозоль полиэтилена	10	3

8.1.2 Анализ опасных производственных факторов и обоснование мероприятий по их устранению

Опасными производственными факторами называются факторы, способные при определенных условиях вызывать острое нарушение здоровья и гибели человека [27].

1. Электрический ток

Электрический ток оказывает следующие воздействия на человека:

- поражение электрическим током;
- пребывание в шоковом состоянии;

- ожоги;
- нервное и расстройство;
- смертельный исход.

Опасность поражения электрическим током существует при сварочных работах. Значение напряжения в электрической цепи должно удовлетворять ГОСТ 12.1.038-82 [33].

Таблица 23 - Напряжения прикосновения и токи, протекающие через тело человека при нормальном режиме электроустановки

Род тока	U, В	I, мА
	не более	
Переменный, 50 Гц	2,0	0,3
Постоянный	8,0	1,0

Таблица 24 - Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов при аварийном режиме бытовых электроустановок напряжением до 1000 В и частотой 50 Гц [30]

Продолжительность воздействия t , с	Нормируемая величина		Продолжительность воздействия t , с	Нормируемая величина	
	U, В	I, мА		U, В	I, мА
От 0,01 до 0,08	220	220	0,6	40	40
0,1	200	200	0,7	35	35
0,2	100	100	0,8	30	30
0,3	70	70	0,9	27	27
0,4	55	55	1,0	25	25
0,5	50	50	Св. 1,0	12	2

Поражение человека электрическим током или электрической дугой может произойти в следующих случаях [34]:

- при прикосновении человеком, неизолированного от земли, к нетоковедущим металлическим частям электроустановок, оказавшимся под напряжением из-за замыкания на корпусе;

➤ при однофазном (однополюсном) прикосновении незаизолированного от земли человека к незаизолированным токоведущим частям электроустановок, находящихся под напряжением.

Все применяемое электрооборудование и электроинструменты должны иметь заземление и подлежат занулению отдельной жилой кабеля с сечением не менее сечения рабочих жил или заземляющий провод диаметром 16 см².

Корпуса, а также все открытые проводящие части применяемого передвижного электрооборудования должны быть защищены от косвенного прикосновения и т.д. в соответствии с требованиями ПУЭ (пункт 1.7.51) [35] путем заземления с помощью переносных заземлителей.

Сопротивление заземляющего устройства для электроустановок с глухозаземленной нейтралью для питания напряжением до 1 кВ не должно превышать 4 Ом, а для электроустановок с изолированной нейтралью – 10 Ом, при выполнении условия, указанного в ПУЭ (пункт 1.7.104) [36].

Для этого рассчитывается сопротивление одиночных заземлителей растеканию тока в однородном грунте по формуле [37]:

$$R = \frac{\rho}{2 \cdot \pi \cdot l} \cdot \ln \frac{4 \cdot l}{d}, \quad (13)$$

где ρ – приближенное значение удельного электрического сопротивления грунта: 10...30 Ом·м, принимаем: 20 Ом·м;

d – диаметр стержня: 4,5 см;

l – длина стержня согласно ПУЭ = 0,5...0,7 м, принимаем: 0,6 м.

$$R = \frac{20}{2 \cdot 3,14 \cdot 0,6} \cdot \ln \frac{4 \cdot 0,6}{0,045} = 21,1 \text{ (Ом} \cdot \text{м)}.$$

Согласно ГОСТ 12.1.030 [38] сопротивление не должно превышать 25 Ом·м.

Полученное сопротивление не превышает нормативного.

Для защиты персонала от поражения электрическим током при косвенном прикосновении в соответствии с требованиями ПУЭ (пункт 1.7.59) [39] передвижное электрооборудование должно быть оборудовано устройством защитного отключения (УЗО).

					Анализ способов сварки полиэтиленовых труб при строительстве промышленных трубопроводов	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат		93

Защита от электрического тока делится на два типа [40]:

1) коллективная (подразумевает оснащение всех опасных электроприборов специальными предупредительными табличками; оборудование электронными системами защиты; изоляция основных электроопасных узлов; контроль состояния электрических цепей, заземление и зануление приборов, работающих от электричества);

2) индивидуальная (подразумевает использование резиновых перчаток, диэлектрической обуви, изолированных подставок под оборудование и т.д.).

С целью предупреждения рабочих об опасности поражения электрическим током широко используются плакаты и знаки безопасности.

Мероприятия по созданию безопасных условий:

- инструктаж персонала;
- аттестация оборудования;
- соблюдение правил безопасности и требований при работе с электротехникой.

2. Пожаро- и взрывоопасность

Причиной пожара, как правило, становится несоблюдение мер пожарной безопасности на месте проведения работ (курение в зоне проведения работ, отсутствие устройств защитного отключения на переносных электроприборах, короткое замыкание и т. д.). Помимо этого, причиной пожара может стать природный фактор, например, удар молнии.

К профилактическим мероприятиям по предотвращению возникновения пожара могут быть [41]:

- вся передвижная техника в зоне проведения работ должна быть обеспечена искрогасителями заводского изготовления;
- приказом должен быть установлен соответствующий противопожарный режим;
- машины, сварочные аппараты, компрессоры, задействованные в производстве подготовительных и огневых работ, должны оснащаться не менее чем двумя огнетушителями ОУ-10, ОП-10;

					Анализ способов сварки полиэтиленовых труб при строительстве промышленных трубопроводов	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат		94

➤ на рабочих местах должны быть вывешены предупредительные надписи: “Не курить”, “Огнеопасно”, “Взрывоопасно”;

➤ горючие отходы, мусор и т. д. следует собирать на специально выделенных площадках в контейнеры или ящики, а затем вывозить.

К первичным средствам пожаротушения, которые должны присутствовать на месте проведения работ, относятся:

- асбестовое полотно размеров 2×2 м – 2 шт.;
- огнетушители порошковые ОП-10 – 10 шт., или углекислотные;
- ОУ-10 – 10 штук или один огнетушитель ОП-100 (ОП-50 2 шт.);
- лопаты – 2 шт.;
- ведра – 2 шт.;
- топор, лом – по 1 шт.

3. Движущиеся машины и механизмы производственного оборудования (в т.ч. грузоподъемные)

При сооружении промышленного трубопровода возможность получения механических травм очень высока. Повреждения могут быть разной тяжести вплоть до летального исхода, так как работа ведется с объектами большого веса. Для предотвращения повреждений необходимо соблюдать технику безопасности.

Мероприятия по обеспечению охраны труда, техники безопасности при проведении подготовительных и основных работ – организационные и технические меры по обеспечению безопасности, осуществляемые при подготовке объекта к проведению работ, применяемые средства коллективной и индивидуальной защиты, режим проведения работ, работы по оборудованию мест отдыха, приема пищи и санитарно – гигиенических норм.

До начала работ необходимо [42]:

1) оформить наряд – допуск на проведение газоопасных, огневых работ и работ повышенной опасности.

2) провести внеочередной инструктаж всем членам бригады по безопасным методам и приёмам ведения газоопасных, огневых работ и работ

					Анализ способов сварки полиэтиленовых труб при строительстве промышленных трубопроводов	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат		95

повышенной опасности, а также по правилам поведения во взрыво- и пожароопасной обстановке и других опасных условиях и обстоятельствах с росписью в Журнале инструктажей на рабочем месте и наряде-допуске. Ознакомить всех руководителей, специалистов, механизаторов и бригадиров с данным Планом производства работ до начала работ, выборочно опросить персонал по усвоению требований безопасности отраженных в разделе;

3) до начала работ установить наличие и обозначить знаками расположение всех коммуникаций в радиусе проведения работ;

4) после доставки и расстановки всё электрооборудование, жилые вагоны, электрические аппараты следует заземлить;

5) проверить взрывозащиту и изоляцию оборудования.

На весь период работ необходимо:

1) в зоне производства работ организовать места для приема пищи, отдыха и санитарно – гигиенические зоны. Жилой городок расположить на расстоянии не менее 100 м от места производства работ;

2) всю гусеничную технику, используемую при производстве работ, оборудовать устройствами, предохраняющими от бокового скольжения;

3) проверить наличие спецодежды, спецобуви и СИЗ у исполнителей по видам работ (костюм х/б, костюм сварщика, противогаз шланговый, страховочный пояс, страховочная веревка, защитная каска и т.д.).

8.2 Экологическая безопасность

При выполнении работ по сооружению промышленного трубопровода необходимо соблюдать требования по защите окружающей среды, условия землепользования, установленные законодательством по охране природы, СНиП 12-01-2004 [43] и другими нормативными документами.

					Анализ способов сварки полиэтиленовых труб при строительстве промышленных трубопроводов	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат		96

Перед началом производства работ следует выполнить следующие работы:

- оформить в природоохранных органах все разрешения, согласования и лицензии, необходимые для производства работ по данному объекту;
- заключить договора со специализированными организациями на сдачу отходов, сточных вод образующихся в процессе производства работ;
- оборудовать места временного размещения отходов в соответствии с нормативными требованиями.

При организации работ по сооружению промышленного трубопровода необходимо осуществлять мероприятия и работы по охране окружающей среды, которые должны включать предотвращение потерь природных ресурсов, предотвращение попадания загрязняющих веществ в почву, водоемы и атмосферу.

Виды воздействий на природную среду в период сооружения промышленного трубопровода:

- загрязнение выбросами выхлопных газов от строительной техники при производстве работ;
- выбросы при производстве сварочных работ;
- образование и размещение отходов, образующихся при сооружении промышленного трубопровода.

Перед началом работ необходимо обеспечить наличие отвода земельного участка. С целью уменьшения воздействия на окружающую среду все работы должны выполняться в пределах полосы отвода земли.

Для снижения воздействия на поверхность земель предусмотрены следующие мероприятия:

- своевременная уборка мусора и отходов для исключения загрязнения территории отходами производства;
- запрещение использования неисправных, пожароопасных транспортных и строительно-монтажных средств;

					Анализ способов сварки полиэтиленовых труб при строительстве промышленных трубопроводов	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат		97

- применение строительных материалов, имеющих сертификат качества;
- выполнение работ, связанных с повышенной пожароопасностью, специалистами соответствующей квалификации.

Загрязнение атмосферы в период производства работ носит временный обратимый характер.

Производственные и бытовые стоки, образующиеся на строительной площадке, должны очищаться и обезвреживаться в порядке, предусмотренном проектом организации строительства и проектами производства работ.

С целью уменьшения воздействия на окружающую среду все работы должны выполняться в пределах полосы отвода земли, определенной проектом.

Проведение работ по сооружению промышленного трубопровода, движение машин и механизмов, складирование и хранение материалов в местах, не предусмотренных проектом, запрещается.

Загрязнение атмосферного воздуха в период сооружения промышленного трубопровода происходит за счет неорганизованных выбросов и является кратковременным. Неорганизованные выбросы являются неизбежными. Организованные выбросы в период проведения работ по сооружению промышленного трубопровода отсутствуют.

К загрязняющим веществам относятся продукты неполного сгорания топлива в двигателях строительных машин и механизмов, вещества, выделяющиеся при сварке листов, выполнении земляных работ и при доставке строительных материалов.

Источниками неорганизованных выбросов являются:

- автотранспорт при перевозке строительных материалов;
- работающие строительные машины и механизмы;
- сварочные работы.

Таблица 25 - Предельно допустимые концентрации вредных веществ в воздухе рабочей зоны [43]

Вещества	Предельно допустимая концентрация, мг/м ³	Класс опасности
Углеводороды C ₁ – C ₁₀	300	4
Оксид углерода (CO)	20	4
Диоксид азота (NO ₂)	2	2
Диоксид серы (SO ₂)	10	3
Сажа	4	3
Ацетальдегид	5	3
Органические кислоты	5	3
Оксид углерода	20	4
Аэрозоль полиэтилена	10	3

8.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

При обеспечении пожарной безопасности работ по сооружению промышленного трубопровода следует руководствоваться ППБ 01-03 [44], РД-13.220.00-КТН-367-06 [41] и другими утвержденными нормативными документами, регламентирующими требования пожарной безопасности.

Места, где проводятся сварочные работы, должны быть укомплектованы первичными средствами пожаротушения [45]:

- асбестовое полотно размеров 2×2 м – 2 шт.;
- огнетушители порошковые ОП-10 – 10 шт., или углекислотные;
- ОУ-10 – 10 штук или один огнетушитель ОП-100 (ОП-50 2 шт.);
- лопаты – 2 шт.;
- ведра – 2 шт.;
- топор, лом – по 1 шт.

Допуск работников к проведению работ должен осуществляться после прохождения ими противопожарного инструктажа. Если происходит изменение специфики работ, то необходимо провести внеочередной инструктаж.

Вся передвижная техника в зоне проведения работ должна быть обеспечена искрогасителями заводского изготовления.

Машины, сварочные аппараты, компрессоры, задействованные в производстве подготовительных и огневых работ, должны оснащаться не менее чем двумя огнетушителями ОУ-10, ОП-10.

Приказом устанавливается соответствующий противопожарный режим, в котором должно быть установлены:

- порядок утилизации горючих отходов, места хранения промасленной спецодежды;
- порядок отключения от питания электрооборудования в случае пожара;
- последовательность проведения огневых и пожароопасных работ, действия и обязанности работников при возникновении пожара;
- порядок и сроки прохождения внеочередного противопожарного инструктажа, время проведения занятий по подготовке к борьбе с пожаром, а также назначены ответственные за их проведение.

Руководитель работ должен совместно с работниками пожарной охраны определить места установки противопожарного оборудования и обеспечить необходимым противопожарным инвентарем.

Горючие отходы, мусор и т. д. следует собирать на специально выделенных площадках в контейнеры или ящики, а затем вывозить.

Применение в процессах производства материалов и веществ с неустановленными показателями их пожаровзрывоопасности или не имеющих сертификатов, а также их хранение совместно с другими материалами и веществами не допускается.

Спецодежда лиц, работающих с маслами, лаками, красками должна храниться в подвешенном виде в металлических шкафах, установленных в специально отведенных для этой цели местах.

					Анализ способов сварки полиэтиленовых труб при строительстве промышленных трубопроводов	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат		100

При работе категорически запрещается курить на рабочем месте.

На рабочих местах должны быть вывешены предупредительные надписи: “Не курить”, “Огнеопасно”, “Взрывоопасно”.

В случае возникновения пожара использовать пенные, порошковые, углекислотные огнетушители или приспособления для распыления воды.

Переносной электроинструмент, светильники, ручные электрические машины должны быть подключены только через устройство защитного отключения (УЗО).

Запрещается проведение сварочных работ во время снега или дождя без применения навеса над местом производства работ и ветра со скоростью свыше 10 м/с.

Запрещается проведение сварочно-монтажных и погрузочно-разгрузочных работ в грозу.

8.4 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Компании, связывающие свою деятельность с транспортом нефти и сооружением объектов для ее хранения, должны обеспечивать своих работников всеми необходимыми материальными и социальными благами в соответствии с трудовым кодексом РФ №197-ФЗ [44].

Так как работы по сооружению промышленного трубопровода проводятся в районах, приравненных к районам Крайнего Севера, у рабочих есть дополнительные льготы, которые отражены в законе «О государственных гарантиях и компенсациях для лиц, работающих и проживающих в районах Крайнего Севера и приравненных к ним местностях» от 19.02.1993 N 4520-1 [45].

Районный коэффициент является одной из основных льгот, предоставляемых рабочим. Оплата труда в районах Крайнего Севера и местностям, приравненным к ним, осуществляется с использованием районных

					Анализ способов сварки полиэтиленовых труб при строительстве промышленных трубопроводов	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат		101

коэффициентов и процентных надбавок к заработной плате согласно ст. 315 Трудового Кодекса РФ [46].

Промысловые трубопроводы являются опасными производственными объектами, поэтому при их сооружении и эксплуатации организации должны следовать Федеральному закону от 21 июля 1997 г. №116-ФЗ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» [47].

					Анализ способов сварки полиэтиленовых труб при строительстве промысловых трубопроводов	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат		102

Заключение

1. В ходе проведенной работы был проведен анализ способов сварки полиэтиленовых труб

2. Теоретически, был предложен метод сварки в условиях крайнего севера для электромuffтового способа позволяющий получить качественное сварное соединение.

3. Основываясь на результатах испытаний, можно сделать вывод что, подогрев трубопровода в условиях крайнего севера положительно влияет на свариваемость и позволяет получить прочное сварное соединение. Так же результаты исследований показали что технологический режим 4 позволяет получить сварное соединение с наиболее лучшими показателями прочности.

4. Экономическая оценка затрат по двум способам сварки показала, что стыковая сварка требует меньшего количества времени по отношению к электромuffтовой на 10% и что применение стыкового способа сварки является более выгодным вариантом с экономической точки зрения, по сравнению с электромuffтовой сваркой. Экономия затрат на сварку 1 километра полиэтиленового трубопровода составляет 295633,68 руб

					<i>Анализ способов сварки полиэтиленовых труб при строительстве промысловых трубопроводов</i>			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дат</i>				
<i>Разраб.</i>		<i>Лось К.К.</i>			Заклучение	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Руковод.</i>		<i>Веревкин А.В.</i>					103	1
<i>Консульт.</i>								
<i>Зав. Каф.</i>		<i>Рудаченко А.В.</i>						
						НИ ТПУ гр. 2БМ4Б		

Список использованных источников

1. Технология изготовления изделий из пластмасс / А. Д. Яковлев. — Л.: Химия, 1968. — 304 с.
2. Проектирование и строительство газопроводов из полиэтиленовых труб и реконструкция изношенных газопроводов. СП 42-103-2003. — М.: ДЕАН, 2005. — 218 с.
3. Проектирование и монтаж подземных трубопроводов горячего водоснабжения из труб ПЭ-С с тепловой изоляцией из пенополиуретана в полиэтиленовой оболочке. СП 41-107-2004. — М.: ДЕАН, 2005. — 32 с.
4. Опыт строительства и реконструкции подземных газопроводов на основе использования полиэтиленовых труб. — М.: НТЦ "КВАН", 2004. — 324 с.
5. Свод правил. Общие положения по проектированию и строительству газораспределительных систем из металлических и полиэтиленовых труб. — М.: ДЕАН, 2011. — 352 с.
6. Газопроводы из полиэтиленовых труб / В. С. Логинов [и др.]. — Саратов: Приволжское книжное изд-во, 1968. — 72 с
7. Полиэтилен высокого давления : научно-технические основы промышленного синтеза / А. В. Поляков, Ф. И. Дунтов, А. Э. Софиев и др.. — Л.: Химия Ленингр. отд-ние, 1988. — 199,[1] с.
8. Пособие по строительству газопроводов из неметаллических труб и курс лекций по сварке пластмасс : настольная книга сварщика пластмасс / сост. Е. М. Костенко. — Киев: Основа, 2005. — 208 с.
9. Сварка, пайка, склейка и резка металлов и пластмасс : Справочник / Под ред. А. Ноймана; Е. Рихтера. — 3-е изд., перераб. и доп.. — М.: Металлургия, 1985. — 480 с.
10. Сварочное оборудование : каталог-справочник / Академия наук Украинской ССР; Институт электросварки им. Е. О. Патона; под ред. А. И. Чвертко. Часть 2. — М.: Наукова думка, 1968. — 388 с.

11. Сварочное оборудование : каталог-справочник / Академия наук Украинской ССР; Институт электросварки им. Е. О. Патона; под ред. А. И. Чвертко. Часть 3. — М.: Наукова думка, 1972. — 196 с.
12. Основы технологии и построения оборудования для контактной сварки : учебное пособие / А. С. Климов [и др.]. — 3-е изд., испр.. — СПб.: Лань, 2011. — 330 с.
13. Стыковая и электромуфтовая сварка (технология и оборудование) / П. И. Евтифеев. — Л.: Машиностроение, 1977. — 208 с.
14. Старостин Н.П., Аммосова О.А. Контактная сварка полиэтиленовых труб оплавлением при низких температурах окружающей среды. Математическое моделирование теплового процесса // Сварочное производство. 2007. № 4. С. 17-20.
15. Старостин Н.П., Аммосова О.А. Контактная сварка полиэтиленовых труб оплавлением при низких температурах окружающей среды. Исследование процесса охлаждения // Сварочное производство. 2008. № 9. С. 31-34.
16. Проектирование и строительство газопроводов из полиэтиленовых труб и реконструкция изношенных газопроводов СП 42-103-2003. Изд. официальное. — М.: ЗАО «Полимергаз», 2004. 86 с.
17. Малкин А.Я., Аскадский А.А., Коврига В.В. Методы измерения механических свойств полимеров. М.: Химия, 1978. 336 с. Кайгородов Е.К., Каргин В.Ю. Влияние скорости охлаждения полиэтиленового сварного шва на его прочность // Трубопроводы и экология. 2001. № 2. С. 13-14
18. Единые нормы и расценки на строительные, монтажные и ремонтно-строительные работы. Общая часть. Сборник Е9. Сварочные работы.
19. Постановление Совмина СССР от 22.10.1990 N 1072 "О единых нормах амортизационных отчислений на полное восстановление основных фондов народного хозяйства СССР".
20. Общероссийский классификатор видов экономической деятельности. Код: 45.21.6. Производство общестроительных работ по

строительству прочих зданий и сооружений, не включенных в другие группировки.

21. ГОСТ Р ИСО 26000-2012. Руководство по социальной ответственности.

22. ГОСТ 12.1.003-83. Шум. Общие требования безопасности.

23. ГОСТ 12.1.004-91. Пожарная безопасность. Общие требования.

24. ГОСТ 12.3.032-84. Система стандартов безопасности труда. Работы электромонтажные. Общие требования безопасности.

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

26. ГОСТ 12.1.005-88. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.

27. ГОСТ 12.1.010-76 ССБТ. Взрывобезопасность. Общие требования.

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

29. РД 34.03.201-97. Правила техники безопасности при эксплуатации тепломеханического оборудования электростанций и тепловых сетей.

30. ГН 2.2.5.686-98. Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны. Гигиенические нормативы.

31. ГОСТ 12.1.038-82. Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов.

32. Сапронов Ю.Г. Безопасность жизнедеятельности. – М.: «Академия», 2006.

33. Правила устройства электроустановок. Издание 7 п. 1.7.51.

34. Правила устройства электроустановок. Издание 7 п. 1.7.104.

35. Расчет устройства защитного заземления : методические указания к выполнению самостоятельной работы БЖД-3 по дисциплине "Безопасность жизнедеятельности" для студентов всех специальностей / Томский

политехнический университет; сост.: Б. А. Тихонов, А. Г. Дашковский. — Томск: Изд-во ТПУ, 1997. — 12 с.: ил. — Библиогр.: с. 12.

36. ГОСТ 12.1.030-81. Электробезопасность. Защитное заземление. Зануление.

37. Правила устройства электроустановок. Издание 7 п. 1.7.59.

38. Правила по охране труда при эксплуатации нефтебаз и автозаправочных станций Р 0-112-001-95.

39. Руководящий документ стандарт правила пожарной безопасности на объектах МН ОАО "АК "Транснефть" и дочерних акционерных обществ РД-13.220.00-КТН-575-06.

40. ОР 15.00-45.21.30-КТН-008-1-00. Регламент оформления нарядов-допусков на огневые, газоопасные и другие работы повышенной опасности на взрывопожароопасных и пожароопасных объектах магистральных нефтепроводов дочерних акционерных обществ ОАО "АК "Транснефть".

41. СНиП 12-01-2004. Организация строительства.

42. ППБ 01-03. Правила пожарной безопасности в РФ.

43. РД-13.220.00-КТН-367-06. Пожарная охрана объектов магистральных нефтепроводов ОАО "АК "Транснефть" и дочерних акционерных обществ.

44. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 30.12.2015).

45. Закон РФ от 19.02.1993 N 4520-1 (ред. от 31.12.2014) «О государственных гарантиях и компенсациях для лиц, работающих и проживающих в районах Крайнего Севера и приравненных к ним местностях».

46. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 30.12.2015). Статья 315. Оплата труда.

47. Федеральный закон от 21.07.1997 N 116-ФЗ (ред. от 13.07.2015) «О промышленной безопасности опасных производственных объектов».

1 INTRODUCTION

Developments in metallurgical technology increased the demand for easy-to-shape materials resistant to environmental working conditions and having high abrasion resistance. Usage of plastic and composite materials become widespread day by day and these materials replace timber, metal, ceramic etc. However, the widespread usage of plastic materials in industry and everyday life brings along several problems. The leading problem of plastic is its negative effects on human health. Therefore, production of plastic materials is subject to very tight standards, with respect to other types of materials. Products confirming to DIN, ISO, TSE, EN etc. standards and food legislations are long lived, environment friendly and human friendly, so they should be preferred [1, 3]. Various techniques are used to produce plastics materials. However, some parts can not be produced using the existing methods. Also, some other parts can be produced, but taking a longer time and with higher costs. Welding these parts, rather than directly producing, is much more effective and gives high quality results [4].

1.1 Welding Properties of Plastic Materials

In welding process, several parameters must be taken into account. These include material properties, working conditions, time-related changes in material properties, hardening tendency after welding, chemical and heat resistance of welded material, process and post-process security, and economy. Thermoplastic materials are acceptable with respect to each of these properties. Other types of plastic materials can not be welded effectively. To join these materials, bonding and mechanical joining are preferred, rather than welding [5, 6].

					<i>Анализ способов сварки полиэтиленовых труб при строительстве промышленных трубопроводов</i>			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дат</i>				
<i>Разраб.</i>		<i>Лось К.К.</i>			<i>Introduction</i>	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Руковод.</i>		<i>Вережкин А.В.</i>					1	3
<i>Консульт.</i>						НИ ТПУ эр. 2БМ4Б		
<i>Зав. Каф.</i>		<i>Рудаченко А.В.</i>						

During welding of plastic materials, a heat-affected region is formed around the weld beam. As a result of the pressure and polymer flux, various types of crystal occur in the welding region. In semi-crystalline materials like polypropylene, condensed flux and rapid cooling also results in certain amounts of crystallized structure. Like metals, the heat-affected region of the workpiece becomes more fragile than the main body. Due to the excess welding strength in the heat-effective region and the aggressive liquids and solvers, corrosion in this region accelerates. Whilst melted metals easily flow into the welding bath and fill the welding bend, viscous fluid plastics needs to be compressed and forced to the welding region. In order to do filling, such an operation is required when working with plastics. However, such pressures make the chain replace in the flow direction, which results in anisotropy. As a result, notch strength, impact strength and tensile strength on joining line level become lower related to the vertical level [4, 6, 7].

1.2 Welding Methods Applied on Plastic Materials and the Effective Parameters

The leading methods applied to thermoplastic materials are the following ones:

- Hot Element (Butt) Welding;
- Hot Gas Welding;
- Extrusion Welding;
- Electrofusion Welding;
- Implant Induction Welding;
- Infrared and Laser Welding;
- Resistive Implant Welding;
- Ultrasonic Welding;
- Linear and Orbital Vibration Welding;
- Spin (Friction) Welding;
- Radio frequency Welding;

					Анализ способов сварки полиэтиленовых труб при строительстве промышленных трубопроводов	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат		2

➤ Microwave Welding.

Each of these methods used to weld plastics has advantages and disadvantages. Hot Element (Butt) and Electrofusion (electro -melting) welding methods are widely used pipe melding methods to join polyethylene (PE) natural gas pipes. Reaching to a targeted quality in plastic welding requires an optimum combination of the following parameters:

Temperature: External surfaces of welding components are softened with heat (hot element, hot gas or friction). Direct flame is not preferred because of bad heat conductivity of plastics. If used, the materials would probably start burning before getting deeply hot. Similarly, if heated plastics are cooled suddenly with pressure air or water, sudden tensions occur in the welding region.

Pressure: As melted plastic is viscous, not fluid, the fibres slipping into each other should be supported with pressure.

Time: Because of poor heat conductivity of plastics materials, heating time and cooling time must be determined very carefully. If the melding heat source is not removed from the ambient for a long time, thermal damages emerge. Expansion and contraction degrees in plastic materials during the heating and cooling applications are higher than metals, which must be taken into account [4, 8, 9].

					Анализ способов сварки полиэтиленовых труб при строительстве промышленных трубопроводов	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат		3

2 JOINING METHODS

2.1 Hot Element (Butt) Welding

Hot element butt welding is a commonly preferred method, because it is more simple, safe, secure and economical. Joining components are heated with a hot element in touch or radiation. When they are softened enough, components are joined under a certain pressure. An additional element can be used to press. The process can be named as direct heating or indirect heating hot element welding, depending on the preferred method. Graphic representation of welding steps is given in Figure 1. As can be seen in this graph, the process includes five steps [11].

Alignment: Joining parts are aligned to the heated tool in a parallel fashion to the tool. The parallelism should be controlled with the help of bead height. Alignment should be performed under P1 pressure for T1 time period. T1 is determined according to the bead height. The minimum bead height levels are given in Table 1.

Heating-Up: In this step, first the pressure applied for alignment is eliminated rapidly. So, the welding components are in touch with the heated tool under nearly no pressure (interface pressure). Meanwhile, heat moves on in the direction of pipe axis. Heating time T2 is given in Table 1. If this period is adjusted shorter than its optimum, the depth of melted plastic becomes shorter than the required depth. If this period is too long, the butt welding region will melt too much and degenerate.

Removal of Heated Tool: After heating-up, joining regions are detached from the heated tool. The joining regions should not be damaged or contaminated during this process. The removal time should be as short as possible. If joining process is not done quickly, cooling and oxidizing will occur in the joining regions and welding quality will deteriorate. The maximum time of removal (T3) is given in Table 1.

					Анализ способов сварки полиэтиленовых труб при строительстве промысловых трубопроводов			
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат	Joining methods	Лит.	Лист	Листов
Разраб.		Лось К.К.					4	8
Руковод.		Веревкин А.В.						
Консульт.								
Зав. Каф.		Рудаченко А.В.						
						НИ ТПУ гр. 2БМ4Б		

Joining: When the heated tool is removed, the joining regions are drawn closer to each other, but this must not be a beat. The desired P3 level of pressure (interface pressure) should be reached with linear increment. The required time T4 is given in Table 1.

Cooling: The joining (interface) pressure P3 must be kept constant while cooling. After joining process is completed, smooth dual bead forms up [13 – 15].

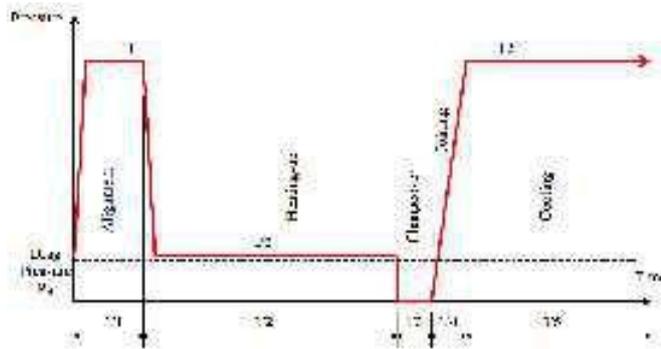


Figure 1. Graphical representation of process steps of hot element welding [10]

Table 1. Welding parameters suggested in hot element welding [10]

1	2	3	4	5	
Nominal Wall Thickness	Alignment	Heating - Up	Changeover	Joining	
	Bead height on heated tool at the end of the alignment time (alignment with 0.15N/mm)	Heating-up time 10 X wallthickness (heating-up with ≤ 0.02 N/mm)		Joining pressure build-up time	Cooling time under joining pressure (P=0.15 N/mm ± 0.01)
mm	mm (min.)	s	s (max. time)	s	s (min. vaues)
4,5	0,5	45	5	5	6
4,5 – 7	1,0	45 – 70	5-6	5-6	6-10
7 – 12	1,5	70 – 120	6-8	6-8	10-16
12 – 19	2,0	120-190	8-10	8-11	16-24

19 – 26	2,5	190-260	10-12	11-14	24-32
26 – 37	3,0	260-370	12-16	14-19	32-45
37 – 50	3,5	370-500	16-20	19-25	45-60
50 – 70	4,0	500-700	20-25	25-35	60-80

Bead dimensions and form reveal the smoothness of the welding. Different types of bead forms can be formed in relation to the melt flow. The bead height must always be bigger than zero. Examples to bead formation defects due to inappropriate parameters and conditions can be seen in Figure 2.

The inappropriate conditions and their possible defects are summarized in Table 2. Figure 3.a shows an example of coin image. Figure 3.b and 6.c shows the results of an appropriate joining with appropriate parameters and application [14,15].

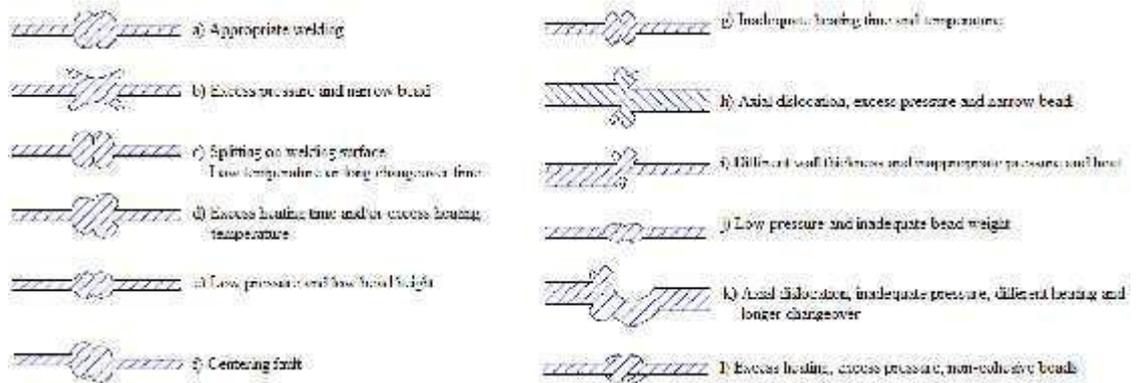


Figure 2. Bead formations [14, 16, 17]

Table 2. Hot element welding problems and their possible reasons [16]

Excess bead width	Excess heating or excess joining pressure
Excess space height in the middle of the bead	Excess joining pressure; inadequate heating; Pressure during heating
Flat bead top	Excess joining pressure; excess heating
Non-uniform bead around pipe	Incorrect position (centring); defective heating tool; inadequate treatment
Smaller beads	Inadequate heating; inadequate joining pressure
Not rotating bead to pipe exterior surface	Little space in the middle of bead: Inadequate heating and inadequate joining pressure Large space in the middle of bead: Inadequate

	heating and excess joining pressure
Bigger beads	Excess heating time
Square external surface of bead	Pressure applied during heating
Rough bead surface	Hydrocarbon spread to butt welding region during welding process

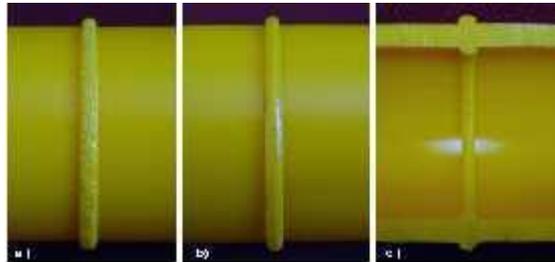


Figure 3. a) Inappropriate welding parameters b) Appropriate welding parameters c) Appropriate welding parameters and pipe internal surface appearance [18]

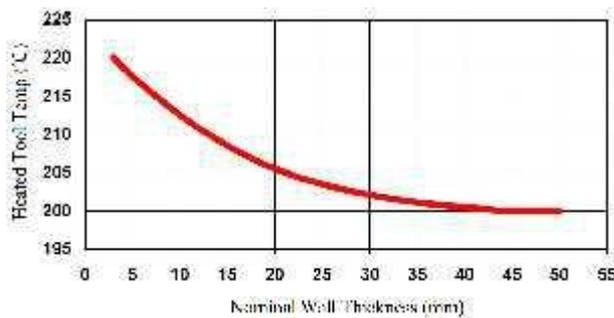


Figure 4. Temperatures with respect to wall thicknesses [19]

Temperature, heating time, cooling time, removal time of heated tool and pressure are among effective parameters of hot element welding. Change in temperatures according to the nominal pipe wall thickness values are given in Figure 4. As seen in the graph, while high temperatures are needed for thin walls, thick walls require low temperatures.

2.1.1 Important Points about Hot Element Welding Quality

In order to obtain a successful butt weld:

- Welding components should match each other in form. The working area should be protected against moisture, wind and low temperature, which affect the butt welding parameters negatively;
- The butt welding region should be protected against direct sunlight etc. to be sure that faces of welding components are at the same temperature at the end of the heating time;
- Dust, shavings etc. on the faces of welding components should be removed before butt welding process;
- Pipes should be properly bound to heads before starting butt welding process;
- It is necessary for both properly centring the pipes and preventing them from leaving the heads and giving harm to operator during treatment;
- During butt welding process (including cooling time) welding components should not be exposed to any kind of mechanical force or coercion. Other end of the pipe should be on a sliding ground, so it can move easily. It is necessary for easy feed forward and feedback without applying any force to butt welding region;
- Treatment tool should be sufficiently sharp. The blade must be sharpened or changed at certain intervals;
- There should not be any deep scratches or notches on teflon coat of the heated tool. Surface of the tool must be checked at certain intervals [11, 20].

2.2 Electrofusion (Electro-Melting) Welding

Resistive implant welding is a simple technique applicable to any kind of thermoplastics and thermoplastic composites. In this method, a direct or low frequency alternating current is drawn into electric conductor implant materials (resistance wire) placed between the welding components; so thermoplastic around this implant melts down. Resistive implant welding is widely used for welding pipes with electro-melting. A specially designed socket with electric resistive cables is used

					Анализ способов сварки полиэтиленовых труб при строительстве промышленных трубопроводов	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат		8

for joining. In our country and in the world, custom-engineered sockets are used in butt welding of polyethylene natural gas and water pipes, for T-branching of pipes and valve assembling to pipes. The common name of the method is electro-melting. Even though the principle of electro-melting method is new, the use of resistance wires for heating dates back to 1900s. In 1956, Mannesman AG improved electro-melting method for the first time to join PE pressure pipes [21]. Electro-melting method is widely used nowadays to join pipes of 20 – 200 mm diameter. Each joining element (fitting, sleeve or socket) in this system is equipped with an integrated heating wire (electric resistance cable), embedded and close to the melting surface (Figure 5, Figure 6). Wire wounds can be single or double wound. Main advantage of single wound to double wound is elimination of a possible short circuit during melting process. When a current generator equipped with a voltage regulator and a timer system is switched on, inner side of the joining element is melted by means of heating elements. Internal diameter of the joining elements should be 1.1% larger than the external diameter of joining pipe. When the joining element is heated, this space between pipe and the element decreases due to thermal expansion (Figure 7).

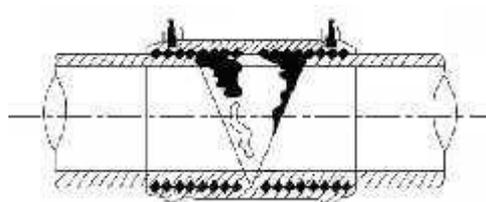


Figure 5. Schematic demonstration of joining [4]

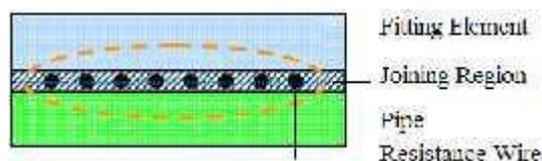


Figure 6. Electro-melting process regions [22]

It is determined that performance of an electro-melted welding is much better than the performance of pipes, as long as the joining process is well done. Wire wounds contribute to this performance. Also, slow cooling of the joining region affects positively. Main negative effect on performance is dirty surfaces [23].

In order to eliminate the risk, the pipe is generally shaved before welding process. Various apparatus are developed to mechanically remove chips of certain height and thickness from external diameter of the pipe.

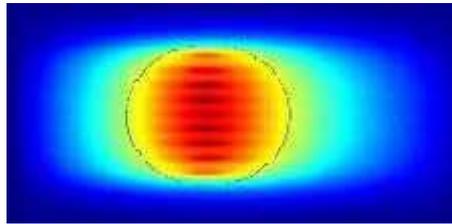


Figure 7. Resistance wire [23]

Melting material creates pressure, which is necessary for adhesion of the joining element and the pipe. Interfacial heat is provided by a current generator. This energy depends on the wound resistance, voltage applied and heating time. Melting time can be controlled automatically via a control box, depending on these parameters. The voltage is about 35 – 40 V; a regulator is needed to optimize this energy and to maintain a decisive voltage. The welding system is shown schematic in figures.

Some space between the joining element and the pipe (Table 3) is crucial for an ideal joining process [24].

Table 3. Maximum Allowed Space Width [21]

Pipe External Diameter ØD (mm)	Space Width t (m)
≤355	0,5
400 < 630	1,0
630 < 800	1,3
800 ≤ 1000	1,5
> 1000	2,0

2.2.1 Conditions and Parameters of Electro-Melting Welding

➤ Plastic pipes of same raw material can be welded with electro-melting welding.

- Flow rate of melted material for electro-melting welding of YYPE pipes is between 0.3 – 1.7 g/min. Solution flow rate of welding pipes and sleeve should be within these values. Pipes with same solution flow rate can be welded.
- The welding region must be kept safe from adverse weather conditions (snow, rain, wind, effective sun light etc.).
- Ambient temperature should be between 5°C and 50°C.
- Generally there are barcode readers on electro-melting welding machines; and barcodes are on electro-melting additional materials (sockets), indicating necessary welding parameters. The welding parameters can be uploaded to the machine via barcodes but welding parameters written on the additional materials can also be saved to the welding machine manually [25].

					Анализ способов сварки полиэтиленовых труб при строительстве промышленных трубопроводов	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат		11

Some samples are joined with hot butt welding using Taurus Welding Machine, in accordance to the parameters given in Table 4. Then, other samples are joined with MSA 300 electrofusion welding machine. Parameters of this welding process are given in Table 4.

Table 4. Hot butt welding parameters and properties of welding equipment

[28]

Process Parameters	
Heating up temperature	120 °C
Heating element temperature	280 °C
Heating up temperature	60 psi
Joining temperature	30 psi
Changeover time	10 sec
Joining and cooling time	36 sec
Working pressure	130 bar
Fluid Flow Rate	30 ml / min
Taurus Welding Equipment Properties	
Conforming TS ISO 12176-1 norms 380V-2200 Watt Treatment Tool 5000 Watt Mono Block Heater Iron Three-faze Hydraulic System 380V-2,2 kW (16 lt/min - 150 Bar)	Maximum nominal wall thickness 32 mm 220 V - 2800 W heated tool Maximum welding tolerance 0.3 mm Heating plate temperature difference ± 5 220 V -0.55 kW hydraulic system engine

Welded samples conforming to standardized dimensions are tested in appropriate conditions for each test. Some tests gave numerical values; whereas in some tests, the changes and negativities in joining regions are evaluated and formation of any damage is questioned. Each test is applied to 4 – 8 samples, depending on nature of test; and the arithmetical means are calculated. In the tests about damage formations, samples are evaluated individually. If none of the samples are damaged, the result is indicated as DAMAGE FREE. In pressure tests, ALC BTC Pressure Test Devices are used. Also, other examinations are carried by hand, tensile strength test device and bending test devices. Outcomes are given in Table 5.

Table 5. Electrofusion welding parameters [21]

MSA 300 Process Parameters	
Working temperature	-10°C + 45°C
Mains Voltage	180V – 264V AC
Input Voltage	380 Volt
Mains Frequency	45 Hz – 65 Hz
Fusion Welding Voltage	8 – 42 (48) V AC
Fusion Welding Power	Max. 80A
Use of Power	Max. 3780 W
Protection	1 / IP65
Power Capacity	3.5 KW
Welding Time Interval	Min.20 min. Max. 30 min.

The most important point to remember when carrying a test is that butt welding can only be applied to pipes with same polymer structure. So, polyethylene (PE 100) plastic material is used in the study. Polyethylene is among widely used plastic materials. High density polyethylene (HDPE) pipes are subject to least abrasion in nature. As seen in a small abrasion of 0.09 mm is observed in the internal surface of HDPE pipes after first 100000 test cycles [27]. Methane permeability of samples prepared with natural gas pipes is maximum 0.075m²/bar a day, for at least 2 mm-thick samples. For butt welding, new material should be used because new materials are resistant to crack formation and propagation. If old materials are welded, crack formation is generally seen near the welding region. For this reason, developed countries occasionally withdrew their old materials from markets [28].

4 EXPERIMENTAL DATA AND DEBATE

The most delicate issue in welding in relation to the welding quality and post-process safety of pipes is positioning the pipes in line. Nominal wall thickness difference should not exceed %10. When cooling process is completed, the pipe is removed from machine. Adequacy of welding, bead width, bead height, presence of any dirt on the joining region, space on heat-affected region and presence of cracks, fractures etc. in adhesion region must be controlled visually. If the visual control is satisfactory, tests should be applied according to international standards. If visual control is not satisfactory, joining process should be repeated after the required pre-treatment process is completed (treatment and cleaning of both pipes after removal of beads). Tests are applied to production and quality control of PE pipes, according to the following standards. Pipes can be conveyed after these tests and controls are completed [29, 30].

Determination of Density (ISO 1183)

This test aims to determine material's weight in unit volume. The material is first weighed in air then in a fluid of a known density with analytical balance. The density of material is calculated using the standardized calculation method.

Determination of MFI (ISO 1133)

This process is carried on in order to evaluate behaviour of materials in relation to temperature changes, before processing the material. Samples are weighed with analytical balance after being tested by MFI device. The weight values are uploaded to the device and results are obtained in g/10 min.

Tensile Strength (ISO 527)

In this test, material's strength to forces is analysed. The tensile strength and elastic module is determined.

					<i>Анализ способов сварки полиэтиленовых труб при строительстве промышленных трубопроводов</i>			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дат</i>				
<i>Разраб.</i>		Лось К.К.			<i>Experimental date and debate</i>	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Руковод.</i>		Вережкин А.В.					15	5
<i>Консульт.</i>						НИ ТПУ эр. 2БМ4Б		
<i>Зав. Каф.</i>		Рудаченко А.В.						

Tensile Elongation (ISO 527)

In this test, elongation amount of the material at break is determined as percentage (%).

Hydrostatic Pres. Test (ISO 9080 EN 921)

In this test, behaviour of pipes under pressure in time is determined under abbreviated ambient conditions. High pressure is applied on the pipes and changes in the pipes in a time equivalent to 50 years are observed.

Homogeneity Test (ISO 13949)

This test is carried on to analyse homogenous pigment dispersion and possible spaces in material structure. A microtome cross section of 10-15µm is examined with microscope.

Carbon Black Amount Analysis (ISO 6964)

This test aims to determine the carbon amount in percentage (%) added to the material homogeneously in order to strengthen it against UV rays. Sample is burned with nitrogen in high temperature ovens. Unburned parts are carbon; the percentage of this part is calculated [22, 31 – 34]. According to the Deutscher Verband für Schweißtechnik DVS (German Society of Welding Technologies) this product pressure has to be multiplied by 0.8 for butt fusion.

Table 6. Tests applied and results of measurements

HYDROSTATIC INTERNAL PRESSURE TEST REPORT (F50)	PE 100
Hydrostatic Strength (80°C,165 h)	Damage Free
Hydrostatic Strength (80°C,1000 h)	Damage Free
Hydrostatic Strength (20°C,100 h)	Damage Free
Determination of Gas Flow Rate/Pressure Decrease Relation UGETAM Test Reprt	At 0.5 mbar \geq 0.25 m/sec
Leaktightness Under Bending and Temperature Conversion Conditions Experiment	Damage Free
Tensile Test Under Constant Speed and Constant Load at 23°C Test Report (F61)	Damage Free
Leaktightness After Tensile Test at 80°C Test Report (F60)	Damage Free
Leaktightness in Temperature Conversion Experiment Report (F62)	Damage Free
Hydrostatic Strength 80°C, 165 h Hydrostatic Pressure Test Report (F50)	Damage Free
Density Raw Material Quality Control Report (F39)	959 kg/m ³ PE 100 944 kg/m ³ for PE 80
Hydrostatic Strength 80°C, 1000 h Hydrostatic Pressure Test Report (F50)	Damage Free
Hydrostatic Strength 20°C, 100 h Hydrostatic Pressure Test Report (F50)	Damage Free
MFR Raw Material Quality Control Report (F39)	0.40(190°C/5 kg) PE 100 0.88 (190°C/5 kg) PE 80

Splice Strength Report (F 96)	% 100 Fusion
Impact Resistance UGETAM Report	Damage Free
Pressure Drop UGETAM Report	At 0.5m bar \geq 0.33 m/sec.
Oxidation Induction Time	33 min.
Electrical Properties Process Control Form (F-12)	4.1 Ω
The statement DAMAGE FREE indicates that no leakage or deformation is observed.	

4.1 Comparison of Butt – Fusion and Electrofusion Welding

When PE pipes are heated up the material properties become weaker at a factor of 0.8. This situation is true only for butt- fusion. For electrofusion welding, it doesn't occur considerable amount of weakening since wall thickness increases (pipe + fitting) at the same time. For butt fusion, obtaining high quality welding is not possible all the time due to necessity of very high man skill, the use of complicated welding machines for welding process, low resist to the pressure at the welding place and also high possibility of leaking [21, 35]. For electrofusion however, at a minimum level of operator knowledge is necessary and it is easier. Also, the welding process can be done with easily usable welding machines giving high quality all the time (Table 7). If one wants to use SDR 17 pipes, they should at least take away the welding bead. As by the bead the pipe is weakened additionally, especially at the outside by the tensile stresses. This is particularity true for PE 100, where the stress concentration factor (another factor to multiply the original strength with) of the notch will weaken the pipe again and very severely [36]. When it is compared in the aspect of both safety and economical respects using of electrofusion welding technique instead of butt – welding is much more proper. Using of electrofusion welding techniques have been increasing rapidly in many countries even for large diameters [21]. But it can be said in general, that there is a much higher risk of failures because of bad workmanship during welding while applying butt fusion compared to electrofusion. A higher possibility of bad workmanship of the welder can create massive problems in the long-term behavior of pipes.

Table 7. Comparison of Butt – Fusion and Electrofusion Welding [21, 34]

General Criteria	Electrofusion		Butt-fusion		
Operating pressure for straight piping system	Same with operating pressure of selected pipe.		Decreases 20 % of operating pressure of selected piping system. (The piping system which is designed for 10 bar can only be operated at 8 bar).		
The effects of components like elbow and tee to the operating pressure of piping system	Same with operating pressure of selected pipe.		Operating pressure of selected piping system: decreases at a rate of; <i>At tee components</i> = % 80 + % 50 <i>At elbows</i> = % 80 + % 80 Example: For the fittings which is manufactured by using 10 bar pipe: Working pressure at tee : $10 \times 0.8 \times 0.5 = 4 \text{ bar}$ Working pressure at elbow : $10 \times 0.8 \times 0.8 = 6.4 \text{ bar}$		
Reduction in the inner diameter of the pipe	Reduction doesn't occur in the inner diameter of the pipe.		Reduction occurs in the inner diameter of the pipe.		
The cost of machine equipment	The cost of standard electrofusion welding machine is 2500€		The cost of standard butt-fusion welding machine is between 5000€ and 30000€		
The usable flexibility of machine equipment	An electrofusion welding machine can be used for all diameters of the pipe		A butt-fusion welding machine cannot be used for all diameters. The machine must be changed for some intervals according to diameters of the pipe.		
The weight of the machine equipment	20 kg		150 – 300 kg		
Welding speed	For d 125 pipe 50 welding operation can done in one day		For d 125 pipe 15 welding operation can done in one day		
Necessity of the fitting material	Additional coupler is necessary for straight piping system		Nothing is necessary for the piping system		
The automation of welding process					
Needed skill for the operator					
	Little	Middle	High	Little	Middle High
Taking all these comparisons into account, it is found out that the ideal welding method for PE pipes up to 250 mm diameter is electrofusion welding method					

The long term tensile test, which the relevant test to show the long term behaviour of plastics in known conditions, will show a long term welding factor of 0.8, which means a reduction of 20% of the strength, compared to unwelded material. Therefore I would like to confirm to you, that altogether from a safety and economic point of view, it is certainly better to use electrofusion rather than butt fusion [36].

					Анализ способов сварки полиэтиленовых труб при строительстве промышленных трубопроводов	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дат</i>		19

5 CONCLUSIONS

Welding of PE pipes used for natural gas transfer is important in relation to its effects on human life, industry and environment. Hot butt welding method is widely preferred as a cheap and easy method. But, internal beam formed during joining process reduces gas flow in small quantities. On the other hand, electrofusion method gives better results in pipes of certain diameters. However, penetration and space formation are its main disadvantages.

In this study, tests are carried in accordance with international standards. It is found out that the most preferable method for joining PE pipes is hot butt welding method, in terms of easiness, safety, durability and economy.

If butt welding method is applied with optimum welding parameters, welding quality is generally high and excellent leaktightness is achieved. However, material hardness increases and elasticity declines in and around the joining region.

PE plastic pipes of 250 mm and bigger diameters should be joined with hot butt welding. Methods other than butt welding do not give good results for such big diameters. Also, components welded by hot butt welding gave best results in folding tests, compared to other welding methods. The welding temperature and change in size of weld had negative effects under pressure in both of the different processes. Expansion of welding region narrows the cross section. These shrinkages result in a decrease of natural gas transfer pressure.

					<i>Анализ способов сварки полиэтиленовых труб при строительстве промышленных трубопроводов</i>			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дат</i>				
<i>Разраб.</i>		<i>Лось К.К.</i>			<i>Conclusion</i>	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Руковод.</i>		<i>Веревкин А.В.</i>					20	1
<i>Консульт.</i>						НИ ТПУ эр. 2БМ4Б		
<i>Зав. Каф.</i>		<i>Рудаченко А.В.</i>						

6 REFERENCE

- [1] Anık, S., Dikicioğlu, A., and Vural, M. 1994. “Termoplastik Malzemelerin Kaynağı”, Kaynak Tekniği Derneği, Yayın No. 2, İstanbul.
- [2] Jim Craig, P. E. 2005. “QA Technology for Polyethylene Butt Fusion Joints”, North American Society for Trenchless Technology, McElroy Manufacturing, Inc. Florida.
- [3] Ogorkiewicz RM., 1970. “Engineering Properties of Thermoplastics”, Willey-Interscience, London. p .249 – 317.
- [4] GEV–ATB–2009. “Plastik Malzemeleri Birleştirme Yöntemleri”, Gedik Eğitim Vakfı.
- [5] ASTM D2657-97. 2002. “Standard Practice for Heat Fusion Joining of Polyolefin Pipe and Fittings”, Volume 8.04. American Society of Testing and Materials. Baltimore.
- [6] Jun, H. Y, Grimm RA. 1998, “Infrared welding of thermoplastics: Practical characterization of transmission behavior of eleven thermoplastics”, Proceedings of ANTEC 1998, Conference Proceedings, Society of Plastics Engineers. p. 1030–1035.
- [7] Ziegler, D, 2004. “Welding of termoplastics”, Welding Journal, Vol. 83, No. 10, p. 45- 47. October.
- [8] Steven A., Kocheny, S. A., and Miller, B., 2009. “Laser Welding: It’s Not Just for Metals Anymore”, Welding Journal, Vol. 88, No. 3, p. 28 - 30.
- [9] Hawkeye Industries Inc. 2008. “Fabricated Fitting Butt Fusion Procedure”, Technical Bulletin: TB-0308-FF, FPR IDC and NIDC Fittings.
- [10] [http:// www.akatherm.com/files/ Pressure/ Weld ing %20polyolefins.pdf](http://www.akatherm.com/files/Pressure/Welding%20polyolefins.pdf).
- [11] ASTM F1056-97. 2002. “Standard Specification for Socket Fusion Tools for Use in Socket Fusion Joining Polyethylene Pipe or Tubing and Fittings”, Volume 8.04. American Society of Testing and Materials. Baltimore.

[12] Plastics Pipe Institute Inc. 2009. "Recommended Minimum Training Guidelines for PE Pipe Butt Fusion Joining Operators for Municipal and Industrial Projects", TN-42/September 2009.

[13] Runcev, D., Trpkovski. Lj., 2008. "Heated Tool Butt Welding Of PE Pipes", 8 International Conference Advanced Manufacturing Operations, p. 21- 25.

[14] Crawford S. L., Cumblidge S. E., Hall T. E., Anderson M. T., 2008. "Preliminary Assessment of NDE Methods on Inspection of HDPE Butt Fusion Piping Joints for Lack of Fusion", Prepared for the U.S. Nuclear Regulatory Commission under U.S. Department of Energy.

[15] General Guidelines for the Heat Fusion of Unlike Polyethylene Pipes and Fittings, Report TN-13, Plastics Pipe Institute, Washington, DC.

[16] Arthur. E., 2006. "Inspection of Fusion Joints in Plastic Pipe", National Energy Technology Laboratory, February 23.

[17] The Plastics Pipe Institute, Inc. 105 Decker Court, Suite 825, Irving, TX 75062

P: 469-499-1044 F: 469-499-1063 www.plasticpipe.org

[18] TR-45/2008, Butt Fusion Joining Procedure For Field Joining of Polyamide-11, January 2008

[19] Starostin N. P., Ammosova O. A., 2009. "Thermal Processes in Butt-Welding Polyethylene Pipe at Low Ambient Temperatures", Russian Engineering Research, Vol. 29, No. 1, p. 12–16.

[20] Arkema Inc. , 2004. "Optimization of Parameters Influencing Butt Fusion Integrity in Polyamide 11 Pipe", King of Prussia, 900 First Avenue, PA 19406-0936

[21] PE Jointing Technics, www.tega.com.tr

[22] Messer, B., Yarmuch, M., Boer, P., 2003. "Novel High Resolution Defect Detection For Thermoplastic Butt-Welds", Pipeline & Gas Journal, RTD Quality Services Inc. Vol. 230, p. 46, March, 2003

[23] Dong. H. N., 2005, "A Study of The Combined Socket and Butt Welding of Plastic Pipes Using Through Transmission Infrared Welding", Presented

in Partial Fulfillment of the Requirement for the Degree Doctor of Philosophy in the Graduate School of The Ohio State University

[24] Fujikake. M., Fukumura. M., Kitao. K., 1997. “Analysis of the electrofusion joining process in polyethylene gas piping systems”, Proceedings of the 11th ADINA Conference, Volume 64, Issues 5-6, September 1997, Pages 939-948

[25] Jack. Q. Z., Lyne. D., Denis. B., 2002. “Effect of joint contamination on the quality of butt-fused high-density polyethylene (HDPE) pipe joints”, Canadian Journal Civil Engineering 29(5): 787–798

[26] Kaluç, E., Taban, E., 2005. “Doğalgaz Boru Hatlarında Kullanılan Polietilen Boruların Kaynağı”, MakinaTek, Bileşim Yayıncılık, s. 118 - 124, İstanbul.

[27] <http://www.pilsa.com.tr/eng/katalog.html>

[28] http://www.ceka-ltd.com/GFdocs/Alet_Listesi/MSA300.pdf

[29] Donoghue, P. E., Kanninen, M. F., Green, S. T. and Grigory, S. C. 1991, “Results of a thermomechanical analysis model for EF joining of PE gas pipes”, In Proceedings of Twelfth Plastic Fuel Gas Pipe Symposium, p. 331–342, Boston.

[30] Polytubes Technical Note, 2007. “Butt Fusio Technique”, POLYETHYLENE, Technical Note. Poly tubes Technical Bulletin. July 2007.

[31] Takasu, N., 2003. “Friction welding of plastics”, Selected from journal of the Japan Welding Society Welding International”, 17(11), p.856, 2003.

[32] Barber P, Atkinson JR. 1994. “The use of tensile tests to determine the optimum conditions for butt fusion welding certain grades of polyethylene”, polybutene-1 and polypropylene pipes. J. of Materials science, p.1456.

[33] M.G. Murch, M.J. Troughton, 1993. “A Study of the Applicability of the Tensile Weld Test for Thick Walled Polyethylene Pipe”, TWI, p. 757.

[34] Murch, M.G., Troughton, M.J., 1993. “A Study of the Applicability of the Tensile Weld Test for Thick Walled Polyethylene Pipe”, TWI, p. 757

[35] Saint Royre, D., Gueugnaut, D. and Reveret, D. 1989. “Test meth - 1995. odology for the determination of optimum fusion welding ABAQUS Theory

Manual”, Version 5.3, Hibbit, Karlsson conditions of PE. J. Appl. Polym. Sci., p.147–162

[36] Fischer. W., 1999. “Experts for Pipes and Plastics Engineering”, Fischer Engineering, Regensburg, Germany.