

Инженерная школа неразрушающего контроля и безопасности  
 Отделение электронной инженерии  
 Направление 15.03.01 Машиностроение

### БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
<b>Разработка технологии сборки и сварки неповоротных стыков труб диаметром 114 мм из стали 09Г2С</b>

УДК 621.791.75.052:622.692.4.07

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-1B51	Константинов Семен Сергеевич		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭИ ИШНКБ	Киселев Алексей Сергеевич	К.Т.Н., доцент		

### КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Якимова Татьяна Борисовна	К.Э.Н		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Романцов Игорь Иванович	К.Т.Н		

### ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭИ ИШНКБ	Першина Анна Александровна	К.Т.Н.		

## Планируемые результаты обучения по программе

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
<i>Профессиональные компетенции</i>	
P1	Применять базовые и специальные естественнонаучные, математические, социально-экономические и профессиональные знания в комплексной инженерной деятельности при разработке, производстве, исследовании, эксплуатации, обслуживании и ремонте современной высокоэффективной электронной техники
P2	Ставить и решать задачи комплексного инженерного анализа и синтеза с использованием базовых и специальных знаний, современных аналитических методов и моделей
P3	Выбирать и использовать на основе базовых и специальных знаний необходимое оборудование, инструменты и технологии для ведения комплексной практической инженерной деятельности с учетом экономических, экологических, социальных и иных ограничений
P4	Выполнять комплексные инженерные проекты по разработке высокоэффективной электронной техники различного назначения с применением базовых и специальных знаний, современных методов проектирования для достижения оптимальных результатов, соответствующих техническому заданию с учетом экономических, экологических, социальных и других ограничений
P5	Проводить комплексные инженерные исследования, включая поиск необходимой информации, эксперимент, анализ и интерпретацию данных с применением базовых и специальных знаний и современных методов для достижения требуемых результатов
P6	Внедрять, эксплуатировать и обслуживать современное высокотехнологичное оборудование в предметной сфере электронного приборостроения, обеспечивать его высокую эффективность, соблюдать правила охраны здоровья и безопасности труда, выполнять требования по защите окружающей среды
<i>Универсальные компетенции</i>	
P7	Использовать базовые и специальные знания в области проектного менеджмента для ведения комплексной инженерной деятельности с учетом юридических аспектов защиты интеллектуальной собственности
P8	Осуществлять коммуникации в профессиональной среде и в обществе, в том числе на иностранном языке, разрабатывать документацию, презентовать и защищать результаты комплексной инженерной деятельности

P9	Эффективно работать индивидуально и в качестве члена команды, проявлять навыки руководства группой исполнителей, состоящей из специалистов различных направлений и квалификаций, с делением ответственности и полномочий при решении комплексных инженерных задач
P10	Демонстрировать личную ответственность, приверженность и готовность следовать профессиональной этике и нормам ведения комплексной инженерной деятельности
P11	Демонстрировать знание правовых социальных, экологических и культурных аспектов комплексной инженерной деятельности, компетентность в вопросах охраны здоровья и безопасности жизнедеятельности
P12	Проявлять способность к самообучению и непрерывно повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Инженерная школа неразрушающего контроля и безопасности  
Отделение электронной инженерии  
Направление 15.03.01 Машиностроение

УТВЕРЖДАЮ:  
Руководитель ООП  
\_\_\_\_\_  
(Подпись)      \_\_\_\_\_ (Дата)      Першина А.А.  
(Ф.И.О.)

### ЗАДАНИЕ на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврской работы
---------------------

(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
3-1В51	Константинову Семену Сергеевичу

Тема работы:

<b>Разработка технологии сборки и сварки неповоротных стыков труб диаметром 114 мм из стали 09Г2С</b>	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	<b>14.02.2020 №45-31/с</b>

Срок сдачи студентом выполненной работы:	03.06.2020 г.
--	---------------

### ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p><b>Исходные данные к работе</b></p> <p><i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<p>Чертеж сварной конструкции; материал сварной конструкции; существующий способ сварки; сварочные материалы; перечень нормативной документации.</p>
---	--

<p><b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b></p> <p><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>Введение</p> <p>1 Обоснование выбора способа сварки</p> <p>2 Оценка технологической свариваемости материала</p> <p>3 Обоснование выбора сварочных материалов</p> <p>4 Расчет параметров режима сварки</p> <p>5 Обоснование выбора сварочного оборудования</p> <p>6 Финансовый менеджмент, ресурсо-эффективность и ресурсосбережение</p> <p>7 Социальная ответственность</p> <p>Заключение</p>
<p><b>Перечень графического материала</b></p>	<p>1 Титульный лист</p> <p>2 Название темы, цель, задачи</p> <p>3 Эскиз изделия</p> <p>4 Формы разделки кромок</p> <p>5 Особенности дуговой сварки покрытыми электродами модулированным током</p> <p>6 Временные диаграммы напряжения и тока при дуговой сварке покрытыми электродами модулированным током</p> <p>7 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность;</p> <p>8 Социальная ответственность</p> <p>9 Вывод</p>
<p><b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b></p>	
<p><b>Раздел</b></p>	<p><b>Консультант</b></p>
<p>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</p>	<p>Якимова Татьяна Борисовна</p>
<p>Социальная ответственность</p>	<p>Романцов Игорь Иванович</p>
<p><b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</b></p>	

<b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b>	01 апреля 2020 г.
---	-------------------

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭИ ИШНКБ	Киселев Алексей Сергеевич	к.т.н., доцент		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-1В51	Константинов Семен Сергеевич		

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
 федеральное государственное автономное  
 образовательное учреждение высшего образования  
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Инженерная школа неразрушающего контроля и безопасности  
 Направление подготовки 15.03.01 Машиностроение  
 Отделение электронной инженерии  
 Период выполнения весенний семестр 2019 /2020 учебного года

Форма представления работы:

Бакалаврской работы
---------------------

(бакалаврская работа, дипломный проект/работа, магистерская диссертация)

**КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН**  
**выполнения выпускной квалификационной работы**

Срок сдачи студентом выполненной работы:	03.06.2020 г.
--	---------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
22.04.2020 г.	Введение	5
29.04.2020 г.	Обоснование выбора способа сварки	15
07.05.2020 г.	Оценка технологической свариваемости материала	15
10.05.2020 г.	Обоснование выбора сварочных материалов	15
20.05.2020 г.	Расчет параметров режима сварки	25
24.05.2020 г.	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	10
29.05.2020 г.	Социальная ответственность	10
30.05.2020 г.	Заключение	5

**СОСТАВИЛ:**

**Руководитель ВКР**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭИ ИШНКБ	Киселев Алексей Сергеевич	к.т.н., доцент		

**СОГЛАСОВАНО:**

**Руководитель ООП**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭИ ИШНКБ	Першина Анна Александровна	к.т.н.		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА  
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И  
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>		
3-1B51	Константинов С.С.		
<b>Институт</b>	<b>ИШНКБ</b>	<b>Отделение</b>	<b>ОТСП</b>
Уровень образования	Бакалавр	Направление/специальность	15.03.01 Машиностроение

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

1. <i>Стоимость ресурсов исследования: материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	Стоимость выполняемых работ, материальных ресурсов, согласно применяемой техники и технологии, в соответствии с рыночными ценами
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	Нормы расхода материалов, нормы времени на выполнение операций, нормы расхода материалов, инструмента и др.
1. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов.</i>	Отчисления во внебюджетные фонды (30%)

**Перечень вопросов, подлежащих разработке:**

<i>Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения исследования с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	Технико-экономическое обоснование целесообразности внедрения новой техники или технологии выполнения работ
<i>Планирование и формирование бюджета проекта</i>	Планирование технического проекта. Определение текущих затрат на сварочные работы
<i>Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</i>	Экономическая оценка сравниваемых способов сварки

**Перечень графического материала** (с точным указанием обязательных чертежей)

*Бюджет проекта*

**Дата выдачи задания для раздела по линейному графику**

**Задание выдал консультант:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Доцент ОСТН	Якимова Татьяна Борисовна	К.Э.Н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
3-1B51	Константинов С.С.		



## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
3-1В51	Константинов С.С.

Школа	ИШНКБ	Отделение школы (НОЦ)	ОТСП
Уровень образования	Бакалавриат	Направление	15.03.01 Машиностроение

Тема ВКР:

Разработка технологии сборки и сварки неповоротных стыков труб диаметром 114 мм из стали 09Г2С

**Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:**

1. Характеристика объекта исследования.	<p>Объект исследования – соединение трубы диаметром 114 мм из стали 09Г2С ручной дуговой сваркой покрытыми электродами.</p> <p>Рабочая зона - рабочее место сварщика расположено на открытом воздухе в месте монтажа трубопровода. Местность равнинная. Климат умеренный. Технологический процесс включает в себя следующие виды работ: сварочные работы, настройка сварочного оборудования, слесарные операции по монтажу трубопровода.</p> <p>Области применения – нефтедобывающая отрасль, бурение, нефтеперерабатывающая отрасль.</p>
---	---

**Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:**

1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.	<p>ВСН 006-89          ВСН 012-88          Приказ Министерства труда и социальной защиты РФ от 23 декабря 2014 г. N 1101н          СП 52.13330.2016          Постановление Правительства РФ от 25 апреля 2012 г. N 390          ГОСТ 12.4.026-2015          СанПиН 2.2.4.3359-16          ГОСТ 12.0.003-2015          ГОСТ 12.1.005-88          ГОСТ Р 12.1.019-2009          ГОСТ Р 12.1.009-2009          ГОСТ 12.1.003-2014</p>
2. Производственная безопасность	<p>Выявить вредные факторы на участке монтажа трубопровода: недостаточная освещенность рабочей зоны, повышенный уровень шума на рабочем месте, неудовлетворительный климат, укусы насекомых и животных, вредные вещества, психофизические факторы: повышенная нагрузка на органы чувств (зрение, слух), тяжелая физическая работа, монотонность труда, высокий уровень интенсивности деятельности.</p> <p>Выявить опасные факторы, относящиеся к оборудованию: электрический ток, статическое электричество, термические ожоги. Предлагаемые средства защиты: краги, спецодежда, маски.</p>

<b>3. Экологическая безопасность</b>	Рассмотреть загрязнение водостоков нефтепродуктами в результате паводковых вод. Рассмотреть вопросы утилизации микросхем вышедшего из строя оборудования.
<b>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</b>	Наиболее актуальная ЧС – возникновение пожара; Рассмотреть профилактические мероприятия, требования к безопасности и меры по ликвидации ее последствий.

<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	02.03.2020
---	------------

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Романцов Игорь Иванович	к.т.н		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-1В51	Константинов С.С.		

## Реферат

Выпускная квалификационная работа 90 с., 10 рис., 25 табл., 40 источников, 17 листов демонстрационного материала (слайдов).

Ключевые слова: сущность ручной дуговой сварки модулированным током покрытыми электродами, неповоротный стык трубопровода.

Объектом исследования является технологии сборки и сварки неповоротных стыков труб диаметром 114 мм.

Целью работы является разработка технологии сборки и сварки модулированным током (СМТ) неповоротных стыков труб диаметром 114 мм из стали 09Г2С.

В процессе исследования произведено технико-экономическое обоснование целесообразности замены ручной дуговой сварки на ручную дуговую сварку модулированным током.

В результате исследования можно сделать вывод, что применение ручной дуговой сварки модулированным током экономически оправдано.

Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики: «катушка» нефтепровода диаметром 114 мм толщиной 10 мм; отвод 60 градусов диаметром 114 мм толщиной 10 мм; «катушка» нефтепровода диаметром 114 мм толщиной 10 мм; отвод 60 градусов диаметром 114 мм толщиной 10 мм; «катушка» нефтепровода диаметром 114 мм толщиной 10 мм.

Область применения: разработанная технология может применяться на нефтедобывающих предприятиях.

Экономическая эффективность работы: штучно-калькуляционное время при РД сварке составляет 94 мин, а при использовании РД модулированным током – 68 мин, что составляет экономию времени на 28 %. Сварка ручной дуговой сваркой модулированным током обходится дешевле на 336 руб./ст и годовой экономический эффект от применения данного варианта составляет 474432 руб/год.

## Определения, обозначения, сокращения, нормативные ссылки

### *Определения*

Нефтепровод – инженерно-техническое сооружение трубопроводного транспорта, предназначенное для транспортировки нефти потребителю.

Ручная дуговая сварка – это способ соединения двух металлических частей при помощи электрической дуги и плавящегося покрытого электрода.

Коэффициент наплавки ( $\alpha_n$ ) – это коэффициент, выраженный отношением массы металла, наплавленной за единицу времени горения дуги, отнесенной к единице сварочного тока.

Сварочная ванна – часть металла свариваемого шва, находящаяся при сварке плавлением в жидком состоянии.

Модуляция – это процесс изменения какой либо величины во времени по заданному закону.

### *Обозначения и сокращения*

РДС – ручная дуговая сварка

СМТ – сварка модулированным током

$\sigma_T$  – предел текучести;

$\sigma_B$  – временное сопротивление разрыву;

$\delta_5$  – относительное удлинение;

$d_{\text{э}}$  – диаметр электродного стержня;

$j$  – допускаемая плотность тока;

$\alpha_n$  – коэффициент наплавки;

$F_n$  – площадь поперечного сечения наплавленного металла за проход;

$\gamma$  – плотность наплавленного металла за данный проход;

$q_{\text{эф}}$  – эффективная тепловая мощность сварочной дуги;

$I_{\text{св}}$  – ток сварочной дуги;

$U_d$  – напряжение на дуге;

$\eta_u$  – эффективный КПД нагрева изделия дугой;

$V_{св}$  – скорость перемещения сварочной дуги;

$I_u$  – ток импульса;

$I_n$  – базовый ток (паузы);

$I_{cp}$  – средний ток;

$t_u$  – продолжительность импульса;

$t_n$  – продолжительность паузы;

$T_u$  – продолжительность цикла модуляции сварочного тока;

### *Нормативные ссылки*

В настоящей работе использованы ссылки на следующие стандарты:

1 ГОСТ 5264-80 Ручная дуговая сварка. Соединения сварные. Основные типы, конструктивные элементы и размеры (с Изменением

2 ГОСТ 16037-80. Соединения сварные стальных трубопроводов. Основные типы, конструктивные элементы и размеры (с Изменением N 1)

3 ГОСТ 8731-74 Трубы стальные бесшовные горячедеформированные.

4 ГОСТ 8732-78 Трубы стальные бесшовные горячедеформированные.

### *Сортамент*

5 ГОСТ 8734-75 Трубы стальные бесшовные холоднодеформированные.

6 РД-153-39.4-056-00 Руководящий документ. Правила технической эксплуатации магистральных нефтепроводов

7 ГОСТ 9466-75. Электроды покрытые металлические для ручной дуговой сварки сталей и наплавки.

8 ГОСТ 7512-82 Контроль неразрушающий. Соединения сварные. Радиографический метод

9 ГОСТ 14782-86 Контроль неразрушающий. Соединения сварные. Метод ультразвуковой

10 СНиП 2.05.06-85 Строительные нормы и правила "Магистральные трубопроводы"

## Оглавление

Введение.....	16
1 Обзор литературы .....	18
1.1 Описание сварной конструкции .....	18
1.2 Материал сварной конструкции .....	19
1.3 Оценка технологической свариваемости материала .....	20
2 Описание применяемого способа сварки .....	22
2.1 Проблемы при сварке в различных пространственных положениях труб .....	22
2.2 Характеристика способа ручной дуговой сварки покрытыми электродами .....	23
2.3 Характеристика ручной дуговой сварки модулированным током .....	25
2.4 Способы модуляции сварочного тока.....	27
2.5 Методы модуляции сварочного тока с активным управлением тепловой мощностью дуги.....	28
2.6 Достоинства и недостатки РДС модулированным током.....	31
3 Выбор сварочных материалов для ручной дуговой сварки.....	34
3.1 Сварочные материалы для ручной дугой сварки покрытыми электродами .....	34
3.2 Сравнительная характеристика электродов УОНИ 13/55, LB 52U, ОК 53.70 .....	36
4 Расчёт параметров режимов ручной дуговой сварки .....	39
4.1 Расчет параметров режимов для ручной дуговой сварки покрытыми электродами .....	39
4.2 Для ручной дуговой сварки покрытыми электродами модулированным током.....	43
5 Обоснование выбора основного сварочного оборудования .....	44
5.1 Выбор оборудования для ручной дуговой сварки покрытыми электродами .....	44
5.2 Выбор оборудования для ручной дуговой сварки покрытыми электродами с применением модулированного тока .....	46

5.3 Выбор модулятора импульсов сварочного тока .....	47
6 Технология сварки .....	49
6.1 Подготовка кромок .....	49
6.2 Сборка, подогрев и сварка стыков .....	49
7 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	51
7.1 Исходные данные для проведения сравнительного анализа .....	51
7.2 Нормирование технологического процесса .....	52
7.3 Экономическая оценка сравниваемых способов сварки.....	55
8 Социальная ответственность .....	60
8.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности .....	60
8.2 Производственная безопасность .....	62
8.3 Экологическая безопасность.....	71
8.4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях .....	72
Заключение .....	76
Список используемых источников.....	77
Приложение А Комплект технологической документации.....	81
Приложение Б Приспособление для сборки и сварки трубопровода.....	82

## **Введение**

В настоящее время сварочное производство занимает одно из главных мест в производстве металлических конструкций. Надёжность сварных соединений металлоконструкций в различных отраслях производства, таких как электроэнергетической, нефтегазодобывающей, горнодобывающей, химической, машиностроительной и т.д. существенно влияет на безопасность и экономическую эффективность производства. Большая металлоёмкость требует применение надёжных и высокопроизводительных способов сварки.

При изготовлении, ремонте и монтаже металлоконструкций ручная дуговая сварка электродами с покрытием является одним из ведущих технологических процессов (60%). Такой значительный объём применения РД в сравнении с другими способами объясняется простотой и надёжностью оборудования его универсальностью, маневренностью, возможностью вести сварку в труднодоступных местах при монтаже, ремонте и реконструкции.

С ростом технического прогресса растут требования по подготовке деталей под сварку, сварке, контролю качества сварных соединений, заставляя совершенствовать и процесс сварки, все они регламентируются и контролируются Ростехнадзором [1].

В ВКР рассматривается проблема сварки неповоротных стыков трубопровода диаметром 114 мм и толщиной стенки 10 мм ручной дуговой сваркой электродами с покрытием модулированным током (СМТ). Этот способ позволяет расширить технологические возможности ручной дуговой сварки.

Частоту импульсов задают по программе или автоматически в обратно пропорциональной зависимости отклонения среднего напряжения дуги от заданного значения, равного номинальному значению для конкретной марки электрода. Во время между импульсами разделка частично заполняется расплавленным металлом сварочной ванны. При этом суммарное действие тока дежурной дуги и тока импульсов обеспечивает равномерное расплавление электрода, при усреднении теплового потока вводимого в изделие и высокую



физическую устойчивость горения дуги, и технологическую устойчивость процесса сварки.

Сварной конструкцией являются трубы диаметром 114 мм из стали 09Г2С. Условия эксплуатации труб накладывают на сварное соединение высокие требования [2].

В ВКР разработан технологический процесс для сварки трубопроводов и дана экономическая оценка эффективности от внедрения сварки модулированным током в производство.

## 1 Обзор литературы

### 1.1 Описание сварной конструкции

Трубы малого диаметра, применяемые для обвязки узлов запуска-приема средств очистки и диагностики, узлов подключения к нефтеперекачивающей станции (НПС) и т.д. В качестве примера будем рассматривать бесшовную трубу по ГОСТ 8731-74 [3] диаметром 114 мм и толщиной стенки 10 мм (рисунок 1).

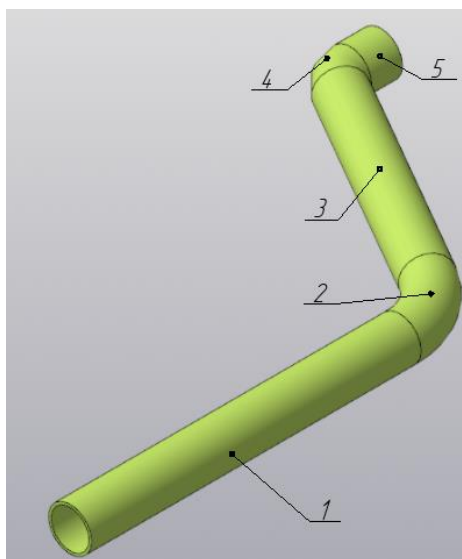


Рисунок 1 – Эскиз трубы

1 – «катушка» нефтепровода; 2 – отвод 60 градусов; 3 – «катушка» нефтепровода; 4 – отвод 60 градусов; 5 – «катушка» нефтепровода

Основной металл – спокойная или полуспокойная углеродистая или низколегированная сталь. Марки трубной стали (преимущественно): Ст3, сталь 10, сталь 20, 09Г2С (рисунок 2).

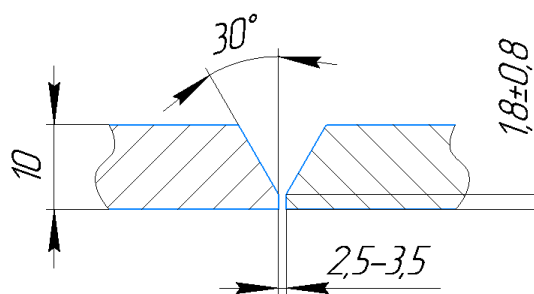


Рисунок 2 – Форма разделки кромок бесшовной трубы, используемая для данного изделия

Согласно [3], кривизна любого участка бесшовной горячедеформированной трубы на 1 м длины не должна превышать 1,5 мм при толщине стенки до 20 мм включительно. В соответствии с ГОСТ 8734-75 кривизна любого участка бесшовной холодно деформированной трубы диаметром свыше 10 мм должна быть не более 1,5 мм. По требованию потребителя кривизна холоднодеформированных труб диаметром 20 - 90 мм не должна превышать 1 мм на 1 м длины [3].

### Материал сварной конструкции

Труба изготовлена из стали 09Г2С (таблица 1 и 2). Класс стали К50. В углеродистых конструкционных сталях, широко используемых в машиностроении, судостроении и др., содержание углерода обычно составляет 0,06-0,9 %. Углерод является основным легирующим элементом и определяет механические свойства стали. Повышение его содержания в стали усложняет технологию сварки и затрудняет возможности получения равнопрочного сварного соединения без дефектов.

Таблица 1 – Химический состав стали 09Г2С по ГОСТ 19282-73 [4]

C, %	Si, %	Mn, %	Cr, %	S, %	P, %	Cu, %	Ni, %	As, %	N, %
0,08-0,12	0,5-0,8	1,3-1,7	Не более						
			0,30	0,04	0,035	0,30	0,30	0,08	0,008

Таблица 2 – Механические свойства стали 09Г2С по ГОСТ 19282-73 [4]

$\sigma_T$ , МПа	$\sigma_B$ , МПа	$\delta$ , %	$\Psi$ , %
350	500	21	55

Стали этой группы для изготовления конструкции обычно применяют в горячекатаном состоянии после термообработки [4].

### 1.3 Оценка технологической свариваемости материала

Наибольшее влияние на свариваемость сталей оказывает углерод. С увеличением содержания углерода, а также ряда других легирующих элементов свариваемость сталей ухудшается. Для сварных конструкций в основном применяют конструкционные низкоуглеродистые, низколегированные, а также легированные стали. Чем выше содержание углерода в стали, тем больше опасность трещинообразования, труднее обеспечить равномерность свойств в сварном соединении [5].

Ориентировочным количественным показателем свариваемости стали известного состава является эквивалентное содержание углерода, которое определяется по формуле [6]:

$$C_s = \left( C + \frac{Mn}{6} + \frac{(Cr+V)}{5} + \frac{Mo}{4} + \frac{Ni}{15} + \frac{Cu}{13} + \frac{P}{2} \right), \quad (1)$$

где C, Mn, Cr, Mo, Ni, Cu, P - процентное содержание легирующих элементов в металле шва.

В зависимости от эквивалентного содержания углерода и связанной с этим склонности к закалке и образованию трещин стали по свариваемости делят на четыре группы: хорошо, удовлетворительно, ограниченно и плохо сваривающиеся. Стали первой группы хорошо свариваются без образования закалочных структур и трещин с широким диапазоне режимов, толщин и конструктивных форм.

Удовлетворительно сваривающиеся стали мало склонны к образованию холодных трещин при правильном выборе режимов сварки, в ряде случаев требуется подогрев. Ограниченно сваривающиеся стали склонны к

трещинообразованию, возможность регулирования сопротивляемости образованию трещин изменением режима ограничена, требуется подогрев. Плохо сваривающиеся стали весьма склонны к закалке и трещинам, требуют при сварке подогрева, специальных технологических приемов сварки и термообработки.

Определим  $C_y$  для стали 09Г2С по формуле (1):

$$C_y = (0,09 + \frac{1,5}{6} + \frac{0,3}{5} + \frac{0,3}{15} + \frac{0,3}{13} + \frac{0,035}{2}) = 0,46\% .$$

Определим размерный эквивалент углерода по формуле указанной в [6]:

$$C_p = 0,005 \times S \times C_y, \quad (2)$$

где  $S$  - толщина свариваемой стенки трубы, тогда подставив значения в формулу, получим:

$$C_p = 0,005 \times 10 \times 0,46 = 0,023\% .$$

Находим суммарный эквивалент углерода  $C_{\Sigma}$ :

$$\sum C_y = C_y + C_p . \quad (3)$$

Подставляем значения и получаем:

$$\sum C_y = 0,46 + 0,023 = 0,483\% .$$

Сталь 09Г2С относится к низкоуглеродистым сталям и сваривается без ограничений и сопутствующего подогрева [5,6].

## **2 Описание применяемого способа сварки**

### **2.1 Проблемы при сварке в различных пространственных положениях труб**

При сварке металлоконструкций, трудно поддающихся методам рациональной механизации, автоматизации и роботизации, ручная дуговая сварка электродами с покрытием является, одним из ведущих технологически: процессов. По данным Национальной агентство контроля и сварки (НАКС) при изготовлении, монтаже и реконструкции технических устройств опасных производственных объектов объём работ выполняемых с применением указанного способа составляет около 65 % [7].

Для обеспечения качества сварных соединений, в положениях отличных от нижнего, сварщику приходится в процессе сварки решать две трудно совместимые проблемы.

Первая проблема – обеспечить качественное формирование сварного шва во всех пространственных положениях сварки.

Вторая проблема – непостоянство получаемого качества сварного шва в зависимости от режимов сварки, внешних и внутренних дефектов и человеческого фактора.

При этом химический состав, механические и специальные свойства сварных соединений должны быть в пределах, установленных нормативной документацией [6].

Решение вышеуказанных проблем связывается с возможностями повышения эффективности ручной дуговой сварки методами модулирования тока [8-12]. По сравнению со сваркой стационарной дугой, сварка модулированным током имеет ряд основных преимуществ, это улучшение формирования шва во всех пространственных положениях, повышение механических свойств, сварных соединений, улучшение дегазации сварочной ванны, снижение сварочных деформаций и др.

Несмотря на перечисленные достоинства, сварка модулированным током электродами с покрытием в условиях монтажа, ремонта и реконструкции практически не применяется. Это связано с тем, что существующие способы сварки модулированным током работают по жёстким программам, не учитывающим теплофизическую обстановку в зоне сварки и физиологические возможности сварщика. Иначе такие методы можно обобщить концепцией «машина-технология», где сварщику отводится роль механизма перемещающего электрод. Он не может не замедлить, не ускорить процесс сварки. Недостатки существующих способов можно устранить, предоставив сварщику возможность управления тепловой мощностью дуги в зависимости от обстановки в зоне сварки. Иначе такую концепцию можно назвать «машина-человек-технология».

В ВКР производится сравнение двух способов сварки ручной дуговой сварки покрытыми электродами и ручной дуговой сварки покрытыми электродами с применением модулированного тока.

## **2.2 Характеристика способа ручной дуговой сварки покрытыми электродами**

Перемещение электрода в процессе сварки осуществляют вручную. При этом возникают трудности, связанные с поддержанием постоянства длины дуги. Колебание дугового промежутка отражаются на основных параметрах режима - величине тока и напряжении. На глубину проплавления металла и скорость расплавления электрода особенно большое влияние оказывает изменение тока. Качество швов, выполненных ручной дуговой сваркой, зависит от квалификации сварщика, удобства ведения процесса и т.п. Способы ручной дуговой сварки доступны и универсальны.

При сварке покрытыми электродами происходит плавление стержня и покрытия. Расплавляющееся покрытие образует шлак и газы. Шлак обволакивает капли металла, образующиеся при плавлении электродной проволоки. В ванне шлак перемешивается и всплывает на её поверхность,

образует шлаковый покров, предохраняющий металл от взаимодействия с кислородом и азотом воздуха. При этом шлак, всплывая на поверхность ванны, взаимодействует с расплавленным металлом и очищает его. Образующиеся при расплавлении покрытия газы оттесняют воздух из реакционной зоны и таким образом способствуют созданию лучших условий для защиты [13].

При сварке покрытыми электродами перемещение электрода вдоль линии сварки и подачу электрода в зону дуги по мере его плавления осуществляют вручную. При этом возникают частые изменения длины дуги, что отражается на постоянстве основных параметров режима: напряжения дуги и силы сварочного тока. С целью поддержания более стабильного теплового режима в ванне при ручной дуговой сварке применяют источники питания с крутопадающими вольтамперными характеристиками.

Рациональная область применения дуговой сварки покрытыми электродами — изготовление конструкций из металлов с толщиной соединяемых элементов более 2 мм при небольшой протяженности швов, расположенных в труднодоступных местах и различных пространственных положениях [7].

Преимущества способа:

- простота процесса и оборудования;
- возможность сварки в труднодоступных местах и на монтаже;
- большой спектр свариваемых материалов;
- спектр свариваемых толщин от 2 мм.

Недостаток способа:

- невысокая производительность;
- большие расходы материалов на огарки и разбрызгивание;
- самый тяжёлый способ по технике исполнения;
- многофакторность качества [7].



### 2.3 Характеристика ручной дуговой сварки модулированным током

Модуляция - это процесс изменения какой-либо величины во времени по заданному закону [14].

С развитием теории управления и средств автоматизации технологических процессов были разработаны способы сварки модулированным током и средства реализации технологического процесса сварки модулированным током. Впервые способ сварки модулированным током был предложен М.П. Зайцевым [14] для сварки неплавящимся электродом. В последующий период было разработано большое количество способов в основе, которых заложен процесс модуляции (изменения) тока сварки .

Сущность состоит в том, что во время сварки ток дуги периодически увеличивается в импульсе и уменьшается в паузе. Основная схема изменения силы тока при РДС покрытым электродом, модулированным током приведена на рисунке 3.

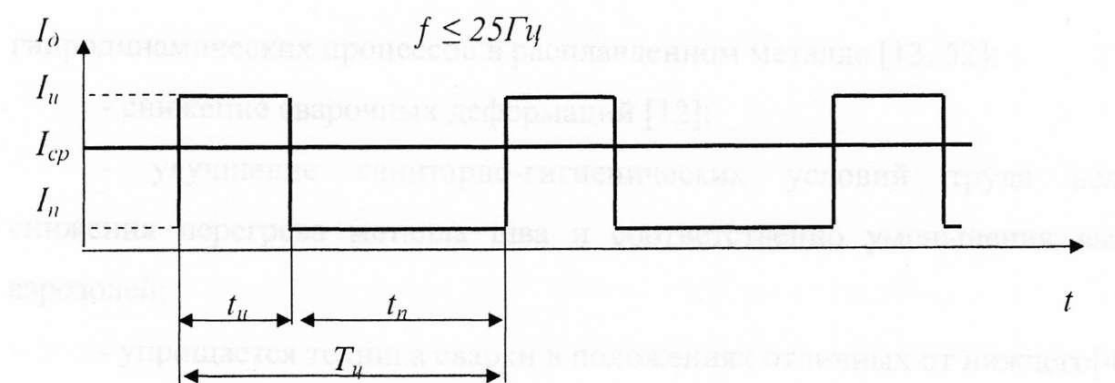


Рисунок 3 – Схема изменения тока при способах сварки модулированным током применяемая для улучшения формирования металла шва во всех пространственных положениях за счёт уменьшения размеров сварочной ванны и увеличения скорости кристаллизации [14]

Основные сокращённые обозначения, принятые на рисунке 3:

–  $I_u$  - ток импульса;

- $I_{\Pi}$  - базовый ток (паузы);
- $I_{\text{ср}}$  - средний ток;
- $t_{\text{и}}$  - продолжительность импульса;
- $t_{\Pi}$  - продолжительность паузы;
- $T_{\text{ц}}$  - продолжительность цикла модуляции сварочного тока.

Сварка модулированным током, по сравнению с обычным процессом дуговой сварки электродами с покрытием на постоянном токе имеет свои преимущества:

- улучшение формирования шва во всех пространственных положениях за счёт уменьшения размеров сварочной ванны и увеличения скорости кристаллизации [15];

- повышение механических свойств, сварных соединений в связи с более равномерным, чем при сварке стационарной дугой распределением легирующих элементов, уменьшением зоны термического влияния и измельчением структуры металла [16];

- улучшение дегазации сварочной ванны вследствие усиления гидродинамических процессов в расплавленном металле;

- снижение сварочных деформаций;

- улучшение санитарно-гигиенических условий труда вследствие снижения перегрева металла шва и соответственно уменьшения выделения аэрозолей;

- упрощается техника сварки в положениях отличных от нижнего;

- предоставляется возможность сварки сверху вниз, в том числе электродами с основным покрытием;

- сокращается время обучения сварщика технике сварки в различных пространственных положениях;

- повышается производительность труда;

- снижается расход электроэнергии.

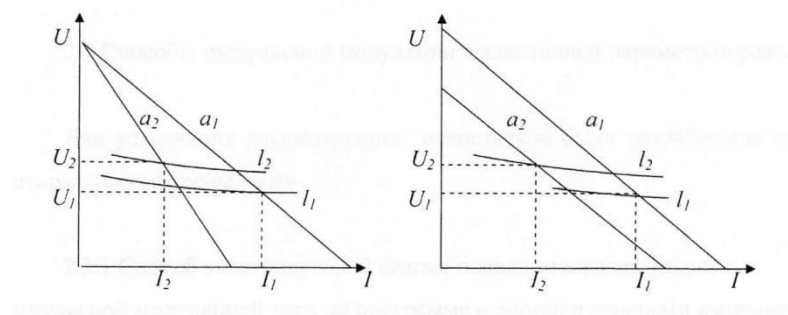
Однако существует ряд проблем при сварке модулированным током:

– увеличение параметров режима сварки делает необходимым тщательный подбор режимов сварки;

– интенсивность светового излучения дуги изменяется в несколько раз частотой 0,5 10 Гц, зрачок глаза успевает реагировать на это, что приводит усталости глаз [16].

## 2.4 Способы модуляции сварочного тока

Один из первых вариантов импульсной модуляции сварочного тока при ручной дуговой сварке электродами с покрытием был предложен в работах [10-12] (рисунок 4) при котором величину тока импульса и паузы получают изменением внешней характеристики источника питания. Длительности импульсов и паузы тока выбирают переменной продолжительности путем соответствующего удлинения и укорочения дуги. При этом напряжение дуги сравнивают с опорным напряжением. Процесс осуществляется при сварке дугой номинальной длины  $l_1$  и импульсе тока  $I_1$ . Напряжение дуги  $U_1$ . При достижении критического тепловложения в шов, сварщик увеличивает длину дуги, это приводит к увеличению напряжения дуги. При достижении величины заданно напряжения  $U_2$  и длине дуги  $l_2$ , подается команда, которая переключает источник тока на характеристику  $a_2$ . Тогда горение дуги происходит при длине дуги  $l_2$ , напряжении  $U_2$  и токе дуги  $I_2$ . Данный способ, позволяет регулировать тепловложение в шов непосредственно в процессе сварки в зависимости от изменяющихся его параметров, что существенно повышает качество сварки вертикальных и потолочных швов, деталей различных толщин и первых слое стыковых соединений, завариваемых с одной стороны.



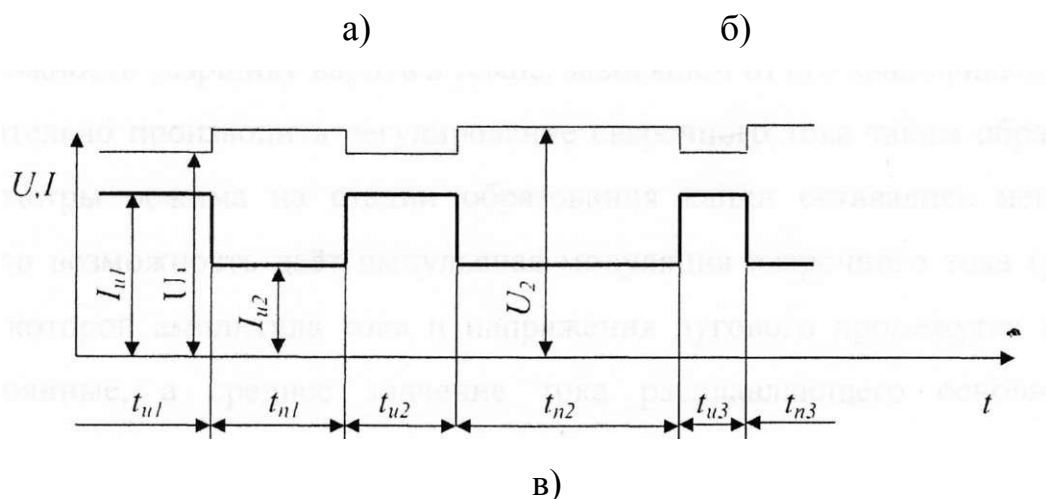


Рисунок 4 – Кривые напряжения и тока дуги [15]

## 2.5 Методы модуляции сварочного тока с активным управлением тепловой мощностью дуги

В разработанных методах импульсной модуляции тока при РД сварки электродами с покрытием модулирующим параметром является напряжение дугового промежутка -  $U_d$ , которое сварщик изменяет в пределах нескольких вольт без нарушения газозлаковой защиты зоны сварки.

Модулируемым параметром режима являются длительность основной паузы  $t_{п.осн.}$ , длительность основного импульса  $t_{и.осн.}$  или одновременно длительность основной паузы и основного импульса  $t_{и.осн.} + t_{п.осн.}$ .

В результате изменения модулируемых параметров изменяется численное значение величины среднего тока –  $I_{ср.}$ .

Один из способов модуляции (представлен на рисунке 5), когда модулируемым параметром является длительность основного импульса  $t_{и.осн.}$ .

Представленный способ позволяет сварщику автоматически адаптировать параметры режима ( $I_{ср.}$  и, соответственно, массу сварочной ванны -  $m_v$ ) под свои физиологические возможности с учетом обстановки в зоне сварки.

В этом варианте длительность основного импульса сварочного тока устанавливают автоматически обратно пропорционально отклонению среднего напряжения дуги от заданного на интервале основного импульса.

Сварщик в зависимости от обстановки в дуговом промежутке и от своих способностей адаптирует параметры режима, обеспечивающие качественное формирование шва и возможную для него производительность сварки.

Величина  $I_{cp}$  устанавливается следующим аналитическим выражением:

$$I_{cp} = \frac{I_u t_u (var) + (I_u t_{u.дон})n + (I_n t_{n.дон})n}{t_u + t_n}, (A). \quad (12)$$

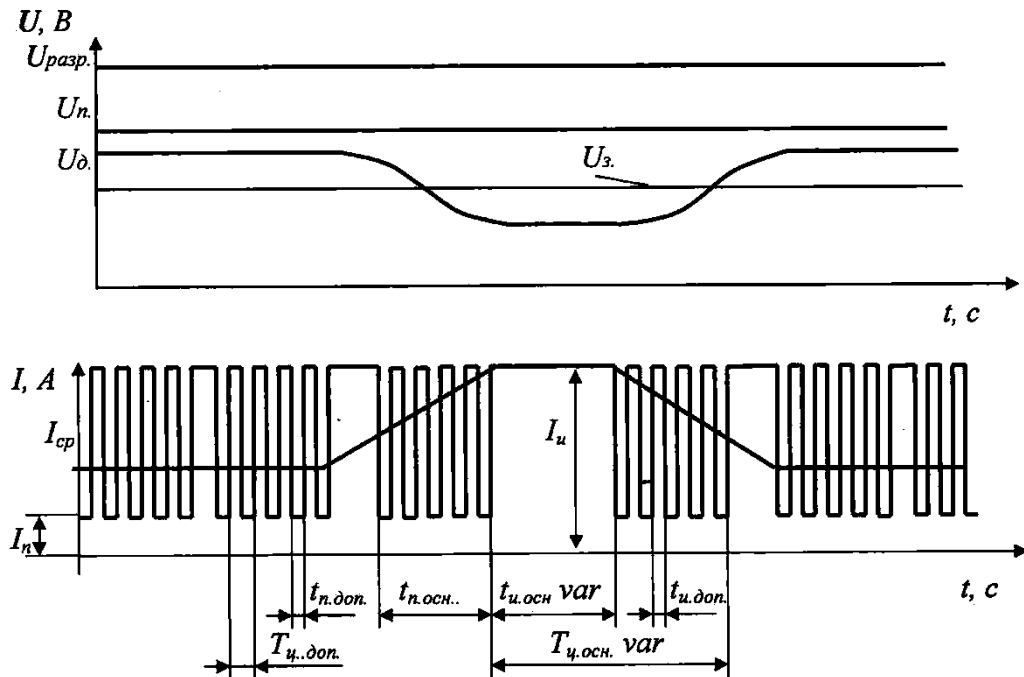


Рисунок 5 – Способ электродуговой сварки плавящимся электродом с импульсной модуляцией длительности основного импульса сварочного тока, где  $U_{\partial \dot{\alpha} \zeta \partial}$  - напряжения при разрыве дуги;  $U_i$  - пороговое напряжение (величина напряжения, при котором появляются поры);  $U_{\partial \dot{\alpha} \zeta \partial}$  -разрывная длина дуги [12]

Другой способ модуляции (представлен на рисунке 6), когда модулируемым параметром является длительность основной паузы  $t_{n.осн.}$

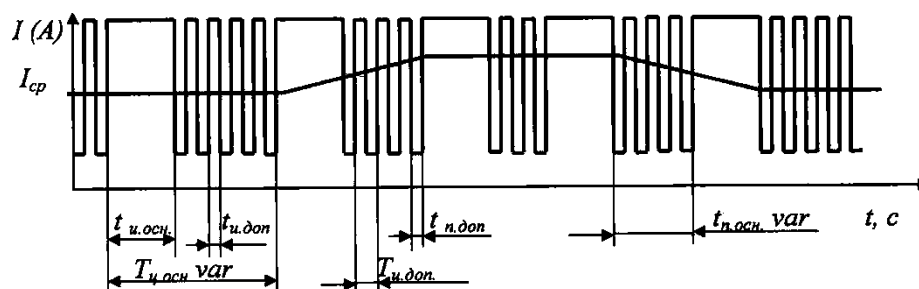


Рисунок 6 – Способ электродуговой сварки плавящимся электродом с импульсной модуляцией длительности основной паузы [12]

В этом варианте длительность основной паузы устанавливают автоматически прямо пропорционально отклонению среднего напряжения дуги на интервале основной паузы, а длительность основных импульсов - постоянной.

Сварщик плавным изменением напряжения дугового промежутка адаптирует параметры режима сварки в зависимости от обстановки в дуговом промежутке и своих возможностей.

В этом случае величина  $I_{cp}$  выражается следующей зависимостью:

$$I_{cp} = \frac{I_u t_u + (I_u t_{u.доп.})n(var) + (I_n t_{n.доп.})n(var)}{t_u + t_n(var)}, (A). \quad (13)$$

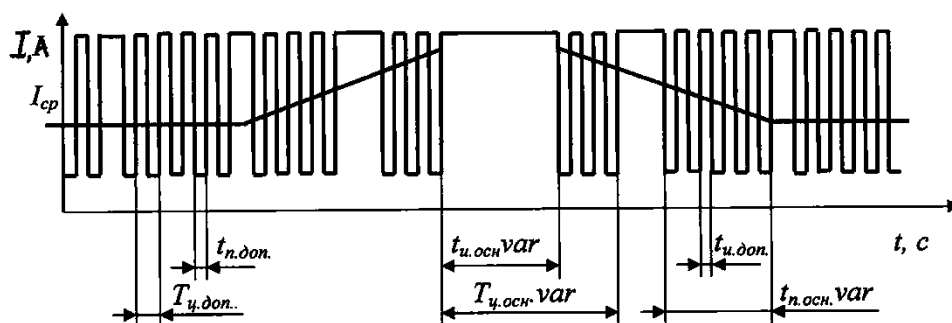


Рисунок 7 – Способ электродуговой сварки плавящимся электродом с импульсной модуляцией одновременно длительности основной паузы и длительности основного импульса [12]

В варианте на рисунке 7 совмещают два предыдущих варианта модуляции параметров импульсов (см. рисунки 5 и 6). Такой вариант модуляции параметров импульсов сварочного тока представляет широкие возможности для адаптации

параметров режима в соответствии с обстановкой в зоне дуги и физических возможностей сварщика. В этом случае аналитическое выражение  $I_p$  принимает вид:

$$I_{cp} = \frac{I_u t_u(\text{var}) + (I_u t_{u.\text{дон}})n(\text{var}) + (I_n t_{n.\text{дон}})n(\text{var})}{t_u(\text{var}) + t_n(\text{var})}, \quad (\text{А}). \quad (14)$$

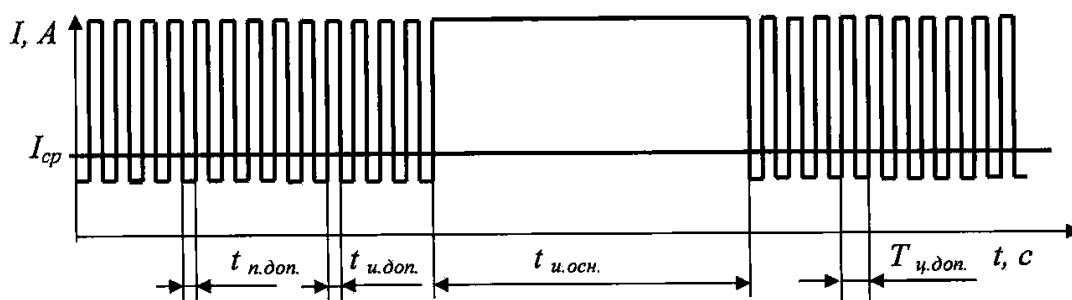


Рисунок 8 – Способ электродуговой сварки плавящимся электродом реализующий релейный режим [12]

В варианте на рисунке 8, в функции отклонения среднего напряжения дуги от заданного автоматически реализуют релейный режим. Дуга может гореть в непрерывном режиме при значении тока основного импульса или значении тока основной паузы с наложением вспомогательных импульсов. Длительность протекания основного тока и основной паузы автоматически устанавливают в функции отклонения среднего напряжения дуги от заданного. При напряжении дуги меньше на 1,0 В от заданного, автоматически включается ток. При увеличении напряжения дуги на 1,0 В выше заданного автоматически снижается ток импульса до тока паузы с наложением вспомогательных импульсов. Такой режим обеспечивает сварку малых толщин. Он удобен для обучения сварке модулированным током.

## 2.6 Достоинства и недостатки РДС модулированным током

Анализ литературных данных показывает, что одной из перспективных модификаций РДС электродами с покрытием, является процесс с импульсной модуляцией сварочного тока. Сварка модулированным током по сравнению с

обычным процессом РДС электродами с покрытием на постоянном токе имеет следующие преимущества:

- упрощается техника сварки в положениях отличных от нижнего;
- предоставляется возможность сварки сверху-вниз, в том числе электродами с основным покрытием;
- повышаются механические свойства сварного соединения;
- измельчается первичное зерно металла шва;
- сокращается время обучения сварщика техники сварки в положениях отличных от нижнего;
- повышаются сварочно-технологические свойства покрытых электродов.

Однако существующие методы и технические средства реализации этого процесса реализуют концепцию «машина-технология», отдавая сварщику по существу роль механизма, осуществляющего механическое перемещение электрода вдоль линии стыка и поддерживающего постоянную длину дуги.

Темп сварки задается техническими средствами модуляции и остается в процессе сварки неизменным.

Недостатками существующих средств модуляции является:

- большая нагрузка на зрение сварщика вследствие большой разницы интенсивности светового излучения дуги во время импульса и паузы с низкой частотой модуляции;
- крупночешуйчатость шва, что обуславливает возможность возникновения подрезов;
- снижение физической устойчивости горения дуги и технологической устойчивости процесса;
- управление длительностью основных импульсов и пауз осуществляется по программе без учета состояния дугового промежутка и возможностей сварщика.

Анализ состояния разработок методов модуляции и технических средств для их реализации показал, что внедрению их в промышленность препятствует не учет ряда факторов, имеющих решающее значение, например:



- явления массопереноса через дуговой промежуток;
- влияния модуляции тока на физическую устойчивость горения дуги и технологическую устойчивость процесса и что весьма существенно на самого сварщика;
- невозможность активного управления тепловой мощностью самим сварщиком в процессе сварки.

Технические средства модуляции сварочного тока при РДС электродами с покрытием реализующие концепцию «машина-технология» могут быть отнесены к первому поколению таких устройств. При их создании ставилась задача перенесения управления тепловой мощностью в процессе сварки, выполняемые сварщиком за счет манипуляции электродом на техническое средство - импульсный модулятор сварочного тока. Такой процесс модуляции имеет существенные не позволившие внедрить его в промышленность недостатки [17].

## **Выбор сварочных материалов для ручной дуговой сварки**

### **3.1 Сварочные материалы для ручной дугой сварки покрытыми электродами**

Для сварки кольцевых стыков нефтепроводов могут быть использованы следующие сварочные материалы:

– электроды с основным и целлюлозным видами покрытия для ручной дуговой сварки.

Все сварочные материалы должны быть аттестованы для применения в трубопроводном строительстве и отвечать специальным требованиям к качеству их изготовления, сварочно-технологическим характеристикам и обеспечивающие требуемый уровень прочностных и вязко-пластических свойств сварных соединений [8].

Электроды общего назначения, выпускаемые в соответствии с ГОСТ 9466-75 [18], который не учитывает специфические условия сварки и ремонта нефтепроводов, не могут быть использованы для этих целей без специальной проверки и аттестации.

В процессе аттестационных испытаний сварочных материалов определяется уровень сварочно-технологических свойств, оценивается соответствие сварочных материалов специальным требованиям к качеству их изготовления и обеспечение необходимого комплекса механических свойств.

Электроды могут быть использованы для сварки нефтепроводов только в случае положительных результатов аттестации конкретной марки сварочного материала, выпускаемой определенным заводом-изготовителем.

Отечественные электроды аттестовываются также на соответствие требованиям технических условий, разрабатываемых заводом-изготовителем и согласованных с организацией, в которую они представлены на аттестацию.

Выбор сварочных материалов должен осуществляться в зависимости от:

– класса прочности и типоразмера свариваемых труб;

- требований к механическим свойствам сварных соединений, выполненных с их использованием;
- условий прокладки нефтепровода и наличия специальных требований к сварным соединениям;
- сварочно-технологических свойств конкретных марок сварочных материалов;
- схемы организации сварочно-монтажных работ и требуемого темпа их выполнения
- возможность осуществления сварки в тех пространственных положениях, в которых будут, находится изделие во время сварки;
- получение плотных беспористых швов;
- получение металла шва, обладающего высокой технологической прочностью, т.е. не склонного к образованию горячих трещин;
- получение металла шва, с требуемой эксплуатационную прочность;
- низкая токсичность;
- экономическая эффективность.

При сварке низкоуглеродистых и низколегированных сталей обычно обеспечиваются достаточно высокие механические свойства сварного соединения и поэтому в большинстве случаев не требуются специальные меры, направленные на предотвращение образования в нем закалочных структур. Однако при сварке первого слоя многослойного шва для повышения стойкости металла против кристаллизационных трещин может потребоваться предварительный подогрев до температуры 120-150 °С.

При ручной дуговой сварке следует использовать электроды с фтористо-кальциевым покрытием, обеспечивающие высокую стойкость металла шва против кристаллизационных трещин и достаточную прочность сварного соединения. Применение электродов с руднокислым и органическим покрытиями не рекомендуется в связи с опасностью образования трещин в слоях шва, примыкающих к более легированной стали. При сварке перлитных сталей

разного легирования между собой целесообразно использовать сварочные материалы, применяемые обычно для менее легированной стали.

При относительно небольшой разнице в легировании свариваемых перлитных сталей предельная рабочая температура сварного стыка может быть допущена близкой к предельной для менее легированной стали [8].

Электроды типа Э50 и Э50А такие как УОНИ 13/55, LB 52U, ОК 53.70, ЦУ-1, по ГОСТ 9467-75 [18] применяются для сварки различных конструкций из малоуглеродистой, углеродистой и низколегированных сталей в тех случаях, когда наплавленный металл должен иметь предел прочности  $\sigma_B = 500 \text{ МПа}$  при высоких значениях ударной вязкости.

### **3.2 Сравнительная характеристика электродов УОНИ 13/55, LB 52U,**

Электроды LB-52U (ЛБ 52У) - это электроды с пониженным содержанием водорода, что позволяет значительно улучшить характеристики сварного шва. Использование данных электродов позволяет получить отличный наплавленный металл шва и аккуратный корневой чешуйчатый валик без дефектов при сварке с одной стороны соединения. Электроды LB 52U обеспечивают высокую ударную вязкость и их часто используют для сварки труб. Обеспечивают намного лучшую стабилизацию дуги и проплавление, чем другие низководородные электроды.

Назначение: электроды LB-52U (ЛБ 52 У) предназначены для сварки труб из сталей прочностных классов до K54 включительно и от K55 до K60 включительно. Электроды LB-52U аттестованы НАКС для использования при строительстве и ремонте магистральных трубопроводов. Электроды с покрытием основного типа для односторонней ручной дуговой сварки труб и ответственных конструкций из углеродистых сталей прочностью до 588 МПа.

Электроды ОК 53.70 – широко известные высококачественные сварочные электроды с покрытием основного вида и с низким содержанием водорода

Разработаны для односторонней сварки трубопроводов и других ответственных конструкций из малоуглеродистых и низколегированных сталей. Отличается большой глубиной проплавления, дают плоский шов с легко удаляемым шлаком. Обеспечивают высокое качество сварки корневого прохода с формированием обратного валика. Хорошо сбалансированная шлаковая система обеспечивает стабильное горение дуги и позволяет легко вести сварку во всех пространственных положениях.

Назначение: предназначены для сварки и ремонта корневого слоя шва стыков труб из сталей с нормативным пределом прочности до 588 МПа включительно, так же могут быть использованы для сварки и ремонта заполняющих и облицовочного слоев шва стыков труб из сталей с нормативным пределом прочности до 529 МПа включительно

Электроды УОНИ 13/55 – сварка особо ответственных конструкций из углеродистых и низколегированных сталей, когда к металлу шва предъявляются повышенные требования по пластичности и ударной вязкости. Сварка во всех пространственных положениях шва постоянным током обратной полярности. Обеспечивают получение металла шва с высокой стойкостью к образованию кристаллизационных трещин и низким содержанием водорода. Сварку производят только на короткой длине дуги по очищенным кромкам.

Недостаток электродов марки УОНИ-13/55 заключается в том, что сварку можно вести только постоянным током обратной полярности, и, кроме того, при наличии ржавчины на кромках при увлажнении покрытия понижается стойкость против образования в металле шва пор.

Сравнение химического состава наплавленного металла, механических свойств и температуры прокалки электродов перед сваркой приведены в таблицах 3-5.

Таблица 3 – Химический состав наплавленного металла, % [18]

Марка	C	Mn	Si	S	P
УОНИ-13/55	0,10	0,7	0,25-0,35	0,03-0,04	0,035

LB-52U	0,06	1,02	0,51	0,006	0,011
ОК-53.70	0,06	1,1	0,4	0,015	0,015

Таблица 4 – Механические свойства наплавленного металла [18]

Марка	$\sigma_T$ , МПа	$\sigma_B$ , МПа	$\delta$ , %	$\psi$ , %
УОНИ-13/55	350	500	25-28	70-75
LB-52U	446	540	34	71
ОК 53.70	440	530	30	70

Таблица 5 – Прокалка перед сваркой [18]

Марка электрода	Температура прокалки, С°	Время прокалки, ч
УОНИ-13/55	350-400	1-2
LB-52U	300-350	0,5-1
ОК 53.70	300	1

Из сравнительной характеристики электродов можно сделать вывод, что электроды LB 52U и ОК 53.70 обладают лучшими химическими и механическими свойствами, имеют меньшую температуру и время прокалки, по сравнению с электродами УОНИ-13/55. Поэтому для нашей трубы выбираем электрод марки LB 52U для сварки корневого слоя шва, электрод ОК 53.70 для сварки заполняющего и облицовочного слоев шва.

## 4 Расчёт параметров режимов ручной дуговой сварки

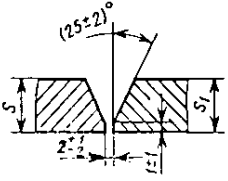
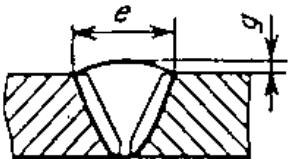
### 4.1 Расчет параметров режимов для ручной дуговой сварки покрытыми электродами

Режимом сварки называют совокупность основных и дополнительных характеристик сварочного процесса, обеспечивающих получение сварных швов заданных размеров, формы и качества.

При дуговой сварке покрытыми электродами основными параметрами режима сварки являются: диаметр электрода, сила сварочного тока, напряжение дуги, площадь поперечного сечения шва, выполняемого за один проход, число проходов, род и полярность тока и др.

Расчет режимов сварки следует начать с определения геометрического строения шва. Геометрия шва и разделка кромок выбирается согласно ГОСТ 16037-80 (таблица 6) [19]. Конструктивные элементы подготовленных кромок и размеры сварного шва следует выбирать по меньшей толщине.

Таблица 6 – Конструктивные элементы сварного соединения [19]

Условное обозначение сварного соединения	Конструктивные элементы		е		S, мм
	Подготовка кромок сварных деталей	Шва сварного соединения	Номин мм.	Предел откл. мм.	
C17			16	± 2	Св. 8 до 11

Согласно рекомендациям получаем профиль шва как показано на рисунке 2. Для определения числа проходов найдем площадь наплавленного металла [7]:

$$F_H = h^2 \times \operatorname{tg} 30 + b \times S + 0,73 \times g \times e, \quad (5)$$

где  $h$ ,  $b$ ,  $S$ ,  $g$ ,  $e$  – геометрические параметры разделки, определяемые в соответствии с ГОСТ 16037-80 [19], тогда подставим значения в формулу (5), получим:

$$F_H = 8,2^2 \times \operatorname{tg} 30 + 3 \times 10 + 0,73 \times 2 \times 18 = 95 \text{ мм}^2.$$

Общую площадь поперечного сечения наплавленного и расплавленного металлов найдем по формуле:

$$F = 0,73 \times e \times (S + g) = 0,73 \times 18 \times (2 + 10) = 158 \text{ мм}^2. \quad (15)$$

Находим площадь поперечного сечения проплавленного металла по формуле:

$$F_{\text{пп}} = F - F_H = 158 - 95 = 63 \text{ мм}^2. \quad (16)$$

Первый проход выполняем электродом диаметром LB 52U 3,2 мм; все последующие проходы выполняем электродами ОК 53.70, также диаметром 3,2 мм.

При сварке швов стыковых соединений площадь поперечного сечения металла, наплаваемого за один проход, при которой обеспечиваются оптимальные условия формирования, должна составлять не более 30 мм<sup>2</sup> для первого прохода (при сварке корня шва) и не более 40 мм<sup>2</sup> для последующих проходов.

Воспользуемся формулой, описанной в [20], для определения первого прохода:

$$F_1 = (6 \dots 8) \times d_s = 7 \times 3,2 = 22,4 \text{ мм}^2. \quad (17)$$

принимаем  $F_1 = 25 \text{ мм}^2$ .

Для определения последующих проходов:

$$F_n = (8 \dots 12) \times d_s = 10 \times 3,2 = 32 \text{ мм}^2. \quad (18)$$

принимаем  $F_n = 35 \text{ мм}^2$ .

Число проходов рассчитывается по формуле:

$$n = \frac{F_H - F_1}{F_n} + 1 = \frac{95 - 22,4}{32} + 1 = 3,2, \quad (19)$$

назначаем три прохода.



Расчёт силы сварочного тока при сварке покрытыми электродами производится по диаметру электрода и допускаемой плотности тока [20]:

$$I_{св} = \frac{\pi \times d^2}{4} \times j, \quad (20)$$

где  $d$  - диаметр электродного стержня, мм;

$j$  – допускаемая плотность тока, А/мм<sup>2</sup>.

Для корневого слоя электроды диаметра 3,2 мм силу сварочного тока по формуле (20):

$$I_{св} = \frac{3,14 \times 3,2^2}{4} \times (10...15) = 80...120 \text{ А},$$

принимаем  $I_{св} = 85 \text{ А}$ , так как сварка корня самое ответственное место, то не рекомендуется использовать большие значение силы сварочного тока.

Для заполняющего и облицовочного слоев электроды диаметра 3,2 мм силу сварочного тока по формуле (20):

$$I_{св} = \frac{3,14 \times 3,2^2}{4} \times (15...18,5) = 120...150 \text{ А},$$

принимаем  $I_{св} = 110 \text{ А}$ .

Для приближённого расчёта напряжения на дуге воспользуемся выражением:

$$U_{\delta} = 20 + 0,04 \times I_{св}. \quad (21)$$

Для сварки корневого слоя шва согласно формуле (21):

$$U_{\delta} = 20 + 0,04 \times 85 = 23,4 \text{ В},$$

принимаем  $U_{\delta} = 23 \text{ В}$ .

Для сварки заполняющего и облицовочного слоев шва согласно формуле (21):

$$U_{\delta} = 20 + 0,04 \times 110 = 24,4 \text{ В},$$

принимаем  $U_{\delta} = 24 \text{ В}$ .

Скорость дуговой сварки покрытыми электродами обычно задается и контролируется косвенно по необходимым размерам получаемого шва и может быть определена по формуле:

$$V_{св} = \frac{\alpha_n \times I_{св}}{3600 \times \gamma \times F_n}, \quad (22)$$

где  $\alpha_n$  – коэффициент наплавки, г/А·ч;

$F_n$  – площадь поперечного сечения наплавленного металла за данный проход, см<sup>2</sup>;

$\gamma$  – плотность наплавленного металла за данный проход, г/см<sup>3</sup> (для стали  $\gamma=7,8$  г/см<sup>3</sup>).

Подставляем значения в формулу (22) и получаем:

для сварки корневого слоя шва:

$$V_{св} = \frac{9,5 \times 85}{3600 \times 7,8 \times 22,4 \times 10^{-2}} = 0,13 \text{ см / с ;}$$

для сварки заполняющего и облицовочного слоев шва:

$$V_{св} = \frac{9,5 \times 110}{3600 \times 7,8 \times 32 \times 10^{-2}} = 0,11 \text{ см / с .}$$

Сварку осуществляем, как показывает расчет, с одинаковой скоростью на всех слоях шва.

Значение погонной энергии определяет количество энергии, вводимое в единицу длины шва (Дж·с/см).

$$q_n = \frac{q_{эф}}{V_{св}} = \frac{I_{св} \times U_d \times \eta_u}{V_{св}}, \quad (23)$$

где  $q_{эф}$  – эффективная тепловая мощность сварочной дуги, Дж;

$I_{св}$  – ток сварочной дуги, А;

$U_d$  – напряжений на дуге, В;

$\eta_u$  – эффективный КПД нагрева изделия дугой, для дуговых методов сварки находится в пределах 0,6...0,9: покрытыми электродами на постоянном токе 0,75...0,85;

$V_{св}$  – скорость перемещения сварочной дуги, см/с.

Подставляем значения в формулу (23) и получаем:

для сварки корневого слоя шва:

$$q_n = \frac{85 \times 23 \times 0,8}{0,13} = 12030 \text{ Дж / см};$$

для сварки заполняющего и облицовочного слоев шва:

$$q_n = \frac{110 \times 24 \times 0,8}{0,11} = 19200 \text{ Дж / см}.$$

#### **4.2 Для ручной дуговой сварки покрытыми электродами модулированным током**

При РДС ПЭ модулированным током основными параметрами режима сварки являются: диаметр электрода, сила сварочного тока в основной паузе, сила сварочного тока в основном импульсе, длительность основной паузы, длительность основного импульса, длительность вспомогательного импульса, частота вспомогательных импульсов, заданное напряжение сварочной дуги.

Расчет режимов сварки следует начать с определения геометрического строения шва. Геометрия шва и разделка кромок в таблице 6.

Исходя из литературных данных [11,12,17] и данных полученных экспериментальным путём в работе [10] для сварки труб, назначаются следующие режимы сварки, которые представлены в таблице 7.

Таблица 7 – Параметры режимов сварки модулированным током [10]

Номер прохода	d <sub>электр</sub> мм	I <sub>н</sub> (А)	t <sub>о.и.</sub> (мс)	f <sub>доп. имп</sub> (Гц)	t <sub>доп. имп.</sub> (мс)	I <sub>п</sub> (А)	I <sub>ср</sub> (А)	U <sub>зад</sub> (В)
1 проход	3,2	140	20	80	3	30	47-60	24
2 проход	3,2	200	36	140	4	30	160	24
3 проход	3,2	200	36	140	4	30	160	24

Благодаря выбранным режимам сварки обеспечиваются оптимальные свойства зоны термического влияния и металла шва. Выполненный шов обладает оптимальными размерами и формами.

## **5 Обоснование выбора основного сварочного оборудования**

### **5.1 Выбор оборудования для ручной дуговой сварки покрытыми электродами**

Для реализации современных технологий сварки магистральных нефтепроводов и обеспечения качества сварных соединений, источники сварочного тока должны отвечать следующим требованиям:

- обеспечение возможности ручной дуговой сварки электродами с различным типом покрытия, применяемыми в трубопроводном строительстве;
- устойчивая работа источника при ручной дуговой сварке во всем диапазоне рабочих токов, в том числе при минимальных, начиная с 40 А;
- возможность регулирования внешних вольтамперных характеристик и настройки тока короткого замыкания в зависимости от типа покрытия электрода при сварке различных слоев шва и в разных пространственных положениях;
- высокие динамические свойства, обеспечивающие время перехода от короткого замыкания к рабочему режиму не более 0,01 секунды;
- наличие малогабаритных дистанционных регуляторов сварочного тока, удобно размещаемых в руке сварщика и обеспечивающих возможность регулирования тока, не обрывая дуги;
- эффективное регулирование сварочного тока с пульта дистанционного управления при длине кабеля подключения до 40 метров;
- возможность использования источников тока в составе передвижных и самоходных агрегатов при пониженном качестве автономной электросети переменного тока, характерного для сетей ограниченной мощности;
- минимальные колебания установленных значений сварочного тока и напряжения из-за взаимного влияния постов (не более  $\pm 10\%$  от установленных значений) при использовании источников тока для компоновки многопостовых систем питания сварочным током в самоходных и передвижных агрегатах;

- возможность эксплуатации источников в диапазоне температур от минус 40 °С до плюс 40 °С;

- номинальный сварочный ток при ПН = 60 % должен составлять не менее 250 А [21].

Учитывая, что источники сварочного тока могут использоваться как стационарно, так и в составе автономных агрегатов питания, к ним предъявляются дополнительные требования по стойкости к воздействию внешних климатических и механических факторов:

- степень защиты IP23 по ГОСТ 14254-96 [22];

- относительная влажность окружающей среды 80 % при  $t = 20$  °С;

- стойкость к воздействию механических факторов внешней среды – группа М18 по ГОСТ 17516.1-90 [23].

Сварочный выпрямитель состоит из двух основных узлов: понижающего трансформатора с регулирующим устройством и блока вентилей. В общий комплект источника питания часто также включается секционированный дроссель, обеспечивающий необходимые динамические характеристики для нормального переноса электродного металла в шов. Этот дроссель предназначен для снижения скорости нарастания тока короткого замыкания и соединен последовательно с дугой в цепи выпрямленного тока.

В качестве понижающего трансформатора в сварочных выпрямителях используют чаще всего трехфазные трансформаторы с нормальным или повышенным магнитным рассеянием. Особенно широкое распространение получили трансформаторы с подвижными катушками. Они просты по устройству и обладают достаточно высоким к.п.д. В таких трансформаторах два диапазона сварочных токов, обеспечиваемых соответствующим соединением первичных и вторичных обмоток [21].

Для ручной дуговой сварки покрытыми электродами выбираем многопостовой сварочный выпрямитель ВДМ–1202С.

Основные технические характеристики выпрямителя ВДМ–1202С представим в таблице 8.

Таблица 8 –Техническая характеристики выпрямителя ВДМ–1202С [21]

Наименование параметра	Значение
Напряжение питающей сети, В	3 х 380
Частота питающей сети, Гц	50
Номинальный выпрямленный ток, А	1250
Номинальное рабочее напряжение, В	63
Режим работы	продолжительный
Количество сварочных постов, не более	8
Коэффициент одновременности работы постов, не более	0,5
Номинальный сварочный ток поста, А, не более (при работе с балластным реостатом)	315
Напряжение холостого хода, В, не более	75
Крутизна наклона внешних характеристик, В/А, не более	0,010
Коэффициент полезного действия, не менее, %	90
Потребляемая мощность, при номинальном токе, кВА, не более	96
Диаметр электрода, мм	3-6
Масса, кг, не более	295
Габаритные размеры, мм	790х640х730

Сварочный выпрямитель имеет следующие преимущества:

- возможность регулирования сварочного тока балластным реостатом непосредственно на рабочем месте, удаленном от центрального источника;
- выпрямитель обеспечивают непрерывную нагрузку (100 %) на своем номинальном токе;
- одновременно могут работать до 8 постов.

Сварочный ток непосредственно регулируется на каждом сварочном посту с помощью балластного реостата РБ–306.

## 5.2 Выбор оборудования для ручной дуговой сварки покрытыми электродами с применением модулированного тока

Источник питания для ручной дуговой сварки модулированным током электродами с покрытием должен обеспечивать лёгкое и надёжное возбуждение дуги, устойчивое её горение в установившемся режиме, плавное регулирование мощности (тока). К источникам питания дуги при сварке модулированным

током предъявляются некоторые дополнительные требования. Источник питания дуги должен обеспечивать большую скорость нарастания тока при коротком замыкании и определенную его величину.

Для выполнения сварки модулированным током обычно используют источники питания, имеющие крутопадающие вольтамперные характеристики. Исходя из этого и для обеспечения необходимой силы тока выбираем выпрямитель ВДМ–1202С, как и для ручной дуговой сварки покрытыми электродами без модуляции тока.

Технические характеристики выпрямителя ВДМ–1202С представлены в таблице 8.

Для обеспечения этих требований необходимо учитывать:

- тип используемых электродов;
- технологические требования модулятора;
- обеспечение необходимой величины сварочного тока.

### **5.3 Выбор модулятора импульсов сварочного тока**

Модулятор сварочного тока выполнен в виде приставки к выпрямителю постоянного тока с крутопадающей внешней вольтамперной характеристикой. Все основные элементы модулятора расположены в одном корпусе. Корпус модулятора выполнен из листовой стали толщиной 1 мм.

Для охлаждения силовых элементов тиристорного ключа и реостатов балластного сопротивления применяется принудительный обдув воздухом, поток которого создается вентилятором. Для свободной циркуляции воздушного потока на боковой части корпуса с противоположной стороны вентилятора установлена вентиляционная решетка.

К основным узлам модулятора относятся: блок силовых вентиляй; блок коммутирующих конденсаторов; вентилятор; коммутирующий дроссель; схема управления сварочным циклом с обратными связями; блок фильтров; предохранитель в зарядной цепи коммутирующих конденсаторов.

Для питания схемы управления используется напряжение 220В, которое подводится посредством штепсельного разъема, установленного на стенке корпуса модулятора.

Для подключения модулятора к сварочной цепи и к выпрямителю сварочного тока используется специальный штепсельный разъем.

На панель управления, расположенную в верхней части, вынесены ручки управления длительностью импульса и паузы, ручка управления заданным напряжением, тумблер для подключения напряжения к блоку управления, тумблер для подключения цепи обратной связи.

Основные технические характеристики импульсного модулятора типа ИРС-300 РП представлены в таблице 9.

Таблица 9 – Технические характеристики импульсного модулятора ИРС-300 РП [10]

Амплитуда импульсов, А	300
Ток паузы, А	$\geq 15 \div 35$
Средний ток, А	40 - 300
Частота доп. импульсов, Гц	30 - 80
Длительность доп. импульсов, с	$(2 - 5)10^{-3}$
Напряжение холостого хода источника питания, В	55 - 70
Длительность импульсов, с	$\geq 0,1 \div 1$
Длительность паузы, с	$0,1 \div 1$
Габаритные размеры, мм	590×320×685
Масса, кг	40

Импульсный модулятор позволяет осуществлять активное управление процессом плавления и переноса электродного металла. При этом вся энергия необходимая для расплавления и переноса капли вводится во время импульсов, а в паузе вводится энергия необходимая для поддержания непрерывного горения дуги. Применение модулятора повышает интенсивность плавления основного и электродного металла, снижает потери на разбрызгивание, расширяет диапазон применяемых режимов.



## **6 Технология сварки**

### **6.1 Подготовка кромок**

Устранить шлифованием на наружной поверхности торцов труб царапины, риски, задиры глубиной от 0,2 мм до 0,4 мм, при этом толщина стенки не должна быть выведена за пределы минусового допуска. Зачистить до чистого металла, прилегающие к кромкам, внутренние и наружные поверхности на ширину не менее 10 мм.

### **6.2 Сборка, подогрев и сварка стыков**

Произвести сборку стыка с зазором 2,0-3,0 мм в приспособлении ФЮРА.20190.010 СБ с применением наружных звенных центраторов ЦЗН 114. Смещение кромок должно быть равномерно распределено по периметру стыка. Наружное смещение не нормируется, однако при выполнении облицовочного слоя шва должен быть обеспечен плавный переход поверхности шва к основному металлу. Внутреннее смещение кромок труб не должно превышать 2,0 мм. Допускается на длине не более 100 мм местные внутренние смещения кромок труб, не превышающие 3,0 мм. Произвести просушку до температуры плюс 20 - 50 градусов Цельсия при наличии влаги на кромках, а также при температуре окружающего воздуха ниже + 5°C. Ширина зоны просушки должна быть не менее 75 мм от оси стыка в обе стороны. Замерить температуру нагрева не менее чем в 3-х точках по периметру стыка на расстоянии 10-15 мм от свариваемых кромок.

Выполнить прихватки равномерно по периметру стыка, их количество должно быть 3-4 шт, а длина каждой 20-40 мм. Режимы сварки как для корневого слоя шва. Зачистить прихватки и обработать шлифовальным кругом начальный и конечный участки каждой из них [24].

Выполнить сварку корневого слоя шва согласно выбранным режимам. Зачистить корневой слой шва от шлака и брызг с помощью шлифмашинки. Выполнить сварку заполняющих и облицовочного слоев шва выбранными

электродами производя послойную зачистку от шлака и брызг металла. Необходимое минимальное количество слоев – 3, рисунок 9.

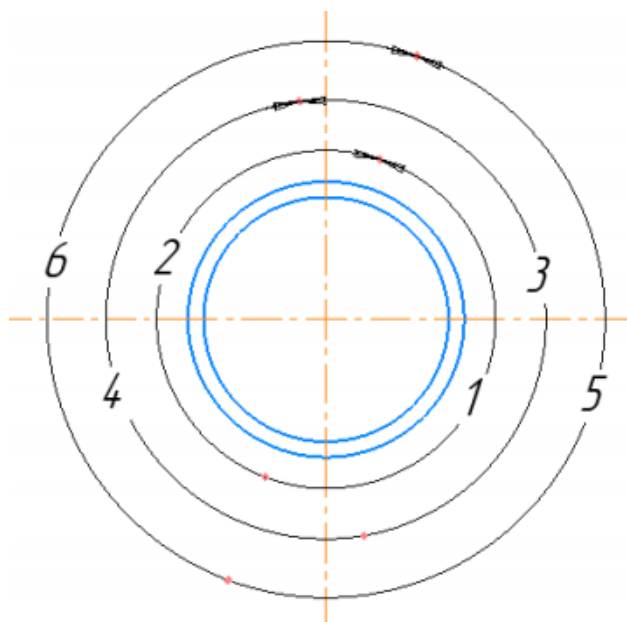


Рисунок 9 – Порядок наложения швов

Выровнять шлифмашинкой или напильником дефекты поверхности облицовочного слоя шва и зачистить прилегающие поверхности от шлака и брызг металла. Произвести контроль качества сварного соединения неразрушающими методами в соответствии с требованиями ОСТ 102-51-85 [25].

Последовательность сборки и сварки описана в технологической документации.

В данном разделе выполняется технико-экономическое обоснование принимаемых инженерных решений. К таким решения относится обоснование выбора рационального процесса сварки изделия из двух сравниваемых вариантов: ручная дуговая сварка покрытыми электродами и ручная дуговая сварка покрытыми электродами модулированным током.

### **7.1 Исходные данные для проведения сравнительного анализа**

Основные параметры сварных швов, а также общая протяженность швов стыков специального трубопровода определялись по рисунку 10.

Узел состоит из:

- труба  $\varnothing 114$  мм длиной 2500 мм 1 шт;
- отвод  $45^{\circ}$   $\varnothing 114$  мм 1 шт;
- труба  $\varnothing 114$  мм длиной 2000 мм 1 шт;
- отвод  $90^{\circ}$   $\varnothing 114$  мм 1 шт;
- труба  $\varnothing 114$  мм длиной 500 мм 1 шт.

Толщина стенки трубы 10 мм.

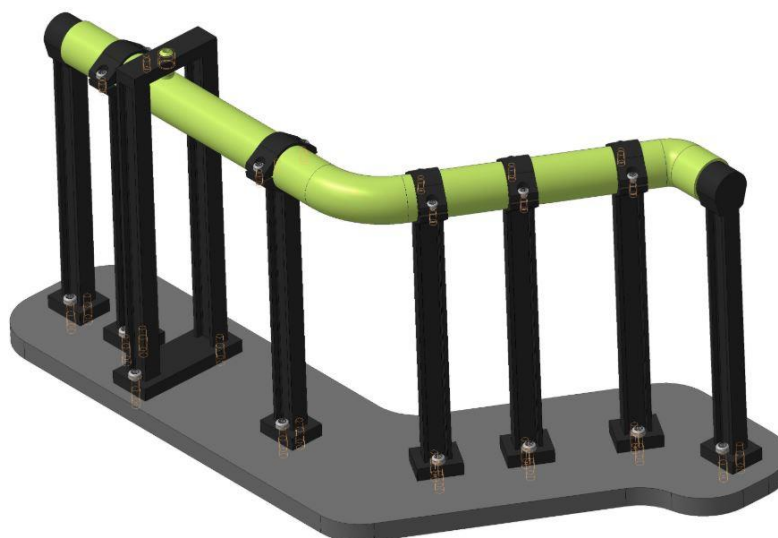


Рисунок 10 – Узел из труб  $\varnothing 114$  мм

Данный узел используется при обвязке НПС. Сварка производится в приспособление на месте монтажа.

## 7.2 Нормирование технологического процесса

В данном разделе производится экономическая оценка двух сравниваемых способов сварки (ручной дуговой сварки и ручной дуговой сварки покрытыми электродами модулированным током) при сборке и сварки участка трубопровода.

Определение норм времени для ручной дуговой сварки [26,27] и РД модулированным током (таблица 10).

Расчет средней силы тока сварки модулированным током производится по следующей формуле:

$$I_{cp} = \frac{I_u \times t_u + I_n \times t_n}{t_u + t_n}. \quad (11)$$

Таблица 10 – Основное время для ручной дуговой сварки и сварки модулированным током на обратной полярности

Исходные данные и расчетная формула	Сравниваемые процессы	
	РД	РД модулированным током
$F_n$ – площадь наплавленного металла, мм <sup>2</sup>	95	69
$\gamma$ – плотность наплавляемого металла, г/см <sup>3</sup>	7,8	7,8
$I_{св}$ – сварочный ток, А		
1 проход	85	60
2 проход	110	160
3 проход	110	160
$\alpha_n$ – коэффициент наплавки, г/А·ч	9,5	10
Расчетная формула, мин/м $t_0 = \frac{F_n \times \gamma \times 60}{I_{св} \times \alpha_n}$	$t_0 = \frac{7,8 \times 60}{9,5} \times \left( \frac{25}{85} + \frac{35}{110} + \frac{35}{110} \right) = 46$	$t_0 = \frac{7,8 \times 60}{10} \times \left( \frac{20}{60} + \frac{24}{160} + \frac{25}{160} \right) = 30$

Определение основного время на сварку показало, что для ручной дуговой сварки модулированным током основное время на 16 мин. меньше чем при

обычной ручной дуговой сварке, это достигается тем, что ток сварки в импульсе увеличивается, а коэффициент наплавки не уменьшается.

Необходимые данные для расчета значений времени  $t_{в.ш}$ ,  $t_{в.из}$  а также коэффициента  $k_{об}$  для сварки модулированным током и ручной дуговой получены из [26] (таблица 11).

Таблица 11 – Вспомогательное время, связанное со сваркой шва

Элементы работы	Сравниваемые процессы	
	РД	РД модулированным током
Очистка перед сваркой свариваемых кромок от налета, ржавчины и осмотр, мин	0,4	0,4
Установка и смена электродов, мин	0,39	0,39
Осмотр и промер шва, мин	0,3	0,3
Зачистка околошовной зоны от брызг наплавленного металла, мин	0,4	0,2
Всего	1,49	1,29

Таблица 12 – Вспомогательное время, связанное с изделием и работой оборудования

Элементы работы	Сравниваемые процессы	
	РД	РД модулированным током
Время на установку, мин	7,4	7,4
Снятие и транспортировка, мин	6,4	6,4
Перемещение сварщика, мин	0,2	0,2
Клеймение шва, мин	0,21	0,21
Всего	14,21	14,21

Таблица 13 – Подготовительно-заключительное время  $t_{п.з}$

Элементы работы	РД	РД модулированным током
Получение производственного задания, указаний и инструктажа от мастера и его сдача, мин	6	6
Ознакомление с работой, мин	4	4
Установка, настройка и проверка режимов, мин	3	3
Подготовка рабочего места к работе, мин	4	4
Сдача работы, мин	3	3
Итого	20	20

Таблица 14 – Штучное время

Исходные данные и расчетная формула	Сравниваемые процессы	
	РД	РД модулированным током
$t_o$ – основное время на сварку, мин/м	46	30
$t_{ви}$ – вспомогательное время, связанное со свариваемым швом на 1 пог. м шва, мин	1,49	1,29
$l$ – длина шва, м $l = \pi \times d$	1,43	1,43
$t_{виз}$ – вспомогательное время, связанное со свариваемым изделием, мин	14,21	14,21
$K_{об}$ – коэффициент, учитывающий затраты времени на обслуживание рабочего места, отдых и естественные надобности	1,1	1,1
Расчетная формула $T_{шт} = [(t_o + t_{ви}) \times l + t_{виз}] \times K_{об}$	$T_{шт} =$ $[(46+1,49) \times 1,43 + 14,21] \times$ $\times 1,1 = 90$	$T_{шт} =$ $[(30+1,29) \times 1,43 + 14,21]$ $\times 1,1 = 65$

Определение штучного времени на сварку показало, что для ручной дуговой сварки модулированным током штучное время на 25 мин. меньше, чем при обычной ручной дуговой сварке (таблица 14).

Таблица 15 – Размер партии

Исходные данные и расчетная формула	Сравниваемые процессы	
	РД	РД модулированным током
$T_{см}$ – продолжительность одной рабочей смены, час	8	8
$T_{шт}$ – штучное время, мин	90	65
Расчетная формула $n = \frac{T_{см} \times 60}{T_{шт}}$	$n = \frac{8 \times 60}{90} \approx 5$ шт	$n = \frac{8 \times 60}{65} \approx 7$ шт

Таблица 16 – Штучно – калькуляционное время

Исходные данные и расчетная формула	Сравниваемые процессы	
	РД	РД модулированным током
$T_{шт}$ – штучное время, мин	90	65
$t_{пз}$ – подготовительно – заключительное время, мин	20	20
$n$ – размер партии, шт	5	7
Расчетная формула $T_{шк} = T_{шт} + \frac{t_{пз}}{n}$	$T_{шк} = 90 + \frac{20}{5} = 94$	$T_{шк} = 65 + \frac{20}{7} = 68$

Изменение произошло из-за штучного времени и размера партии (таблица 16).

Таблица 17 – Масса наплавленного металла шва

Исходные данные и расчетная формула	Сравниваемые процессы	
	РД	РД модулированным током
$F_n$ – площадь наплавленного металла, мм <sup>2</sup>	90	69
$L$ – длина шва, м	1,43	1,43
$\gamma$ – плотность наплавляемого металла, г/см <sup>3</sup>	7,8	7,8
Расчетная формула $G = F \times L \times \gamma$	$G = 90 \times 1,43 \times 7,8 = 1,0 \text{ кг}$	$G = 69 \times 1,43 \times 7,8 = 0,8 \text{ кг}$

### 7.3 Экономическая оценка сравниваемых способов сварки

Рассматривается возможность изготовления сварного изделия с использованием альтернативных способов и средств сварки, которыми располагает предприятие и когда необходимо выбрать лучший процесс. В подобной ситуации выбор лучшего решения должен осуществляться на основе текущих затрат.

При их определении во внимание следует принимать лишь релевантные затраты, то есть такие, которые будут различаться в сравниваемых вариантах и которые могут повлиять на выбор лучшего варианта. Очевидно при сравнении РД и РД модулированным током нет необходимости учитывать затраты на

основной материал, из которого изготавливается сварная конструкция, поскольку анализируемые процессы практически не оказывают заметного влияния на расход основного материала [27].

Таблица 18 – Затраты на сварочные материалы

Исходные данные и расчетная формула	Сравниваемые процессы	
	РД	РД модулированным током
$g_{nm}$ – масса наплавленного металла, кг/изд	1,0	0,8
$k_n$ – коэффициент, учитывающий отношение веса электродов или проволоки к весу наплавленного металла	1,6	1,6
$\Pi_{cm}$ – цена электродов, кг\руб	410	410
Расчетная формула $C_{cm} = g_{nm} \times k_n \times \Pi_{cm}$	$C_{cm} = 1,0 \times 1,6 \times 410 = 656$	$C_{cm} = 0,8 \times 1,6 \times 410 = 525$

Изменение затрат произошло из-за массы наплавленного металла (таблица 18).

Таблица 19 – Затраты на заработанную плату рабочих

Исходные данные и расчетная формула	Сравниваемые процессы	
	РД	РД модулированным током
$C_{мз}$ – среднемесячная заработная плата рабочих соответствующих профессий, руб	60000	60000
$F_{мр}$ – месячный фонд времени работы рабочих, часы/месяц $F_{мр} \approx 172$ часов/месяц	172	172
$t_{шк}$ – штучно–калькуляционное время на выполнение операции, мин\изд	94	68
Расчетная формула $C_3 = \frac{C_{мз} \times t_{шк}}{F_{мр} \times 60}$	$C_3 = \frac{60000 \times 94}{172 \times 60} = 547$	$C_3 = \frac{60000 \times 68}{172 \times 60} = 395$



Таблица 20 – Отчисления на социальные цели

Исходные данные и расчетная формула	Сравниваемые процессы	
	РД	РД модулированным током
$k_{отч}$ – процент отчислений на социальные цели от основной и дополнительной заработной платы	30 %	30 %
$C_3$ – Затраты на заработанную плату рабочих, руб	547	395
Расчетная формула $C_{отч} = \frac{k_{отч} \times C_3}{100}$	$C_{отч} = \frac{30 \times 547}{100} = 164$	$C_{отч} = \frac{30 \times 395}{100} = 119$

Таблица 21 – Затраты на электроэнергию

Исходные данные и расчетная формула	Сравниваемые процессы	
	РД	РД модулированным током
$U$ – напряжение, В	24	24
$I$ – сила тока, А	102	127
$t_o$ – основное время сварки, мин/м	46	30
$l$ – длина сварного шва, м/изд	1,43	1,43
$\eta$ – коэффициент полезного действия источника питания	0,75	0,8
$\Pi_{эл}$ – стоимость 1 квт-ч электроэнергии, руб	5,1	5,1
Расчетная формула $C_{эм} = \frac{U \times I \times t_o \times l}{60 \times \eta \times 1000} \times \Pi_{эл}$	$C_{эм} = \frac{24 \times 102 \times 46 \times 1,43}{60 \times 0,75 \times 1000} \times 5,1 = 18 \text{ руб/изд}$	$C_{эм} = \frac{24 \times 127 \times 30 \times 1,43}{60 \times 0,8 \times 1000} \times 5,1 = 14 \text{ руб/изд}$

Таблица 22 – Затраты на ремонт оборудования

Исходные данные и расчетная формула	Сравниваемые процессы	
	РД	РД модулированным током
$\Pi_j$ – цена оборудования соответствующего вида	154000	194000
$k_{рем}$ – коэффициент, учитывающий затраты на ремонт	0,25	0,25
$t_{шк}$ – штучно– калькуляционное время на выполнение операции, мин\изд	94	68

$F_{ГО}$ – годовой фонд времени работы оборудования, ч	2000	2000
$k_3$ – коэффициент, учитывающий загрузку оборудования	0,8	0,8
Расчетная формула $C_p = \frac{\sum_{j=1}^n \Pi_j \times k_{рем} \times t_{шк}}{F_{ГО} \times k_3 \times 60}$	$C_p = \frac{154000 \times 0,25 \times 94}{2000 \times 0,8 \times 60} = 38$	$C_p = \frac{194000 \times 0,25 \times 68}{2000 \times 0,8 \times 60} = 34$

Изменение затрат произошло из-за количества видов оборудования, используемого для выполнения операций технологического процесса сварки (для РД использовали ВДМ-1202С, а для РД модулированным током ВДМ-1202С и ИРС–300РП), цены оборудования соответствующего вида и штучно – калькуляционного времени на выполнение операции (таблица 22).

Таблица 23 – Результаты расчетов, руб

Наименование	РД (1)	РД МТ (2)	Разница (1)–(2)
1. Сварочные материалы	656	525	131
2. Основная зарплата	547	395	152
3. Социальные цели	164	119	45
4. Электроэнергия	18	14	4
5. Ремонт	38	34	4
Итого	1423	1087	336

Годовой объем производимой продукции может быть принят равным годовой производительности оборудования по лучшему варианту сварки [27, 28]:

$$Q_r = \frac{F_{ГО} \times k_3 \times 60}{t_{шк_{пр}}}, \quad (12)$$

где  $t_{шк_{пр}}$  – норма времени на сварку по лучшему процессу сварки, мин/изд.

$$Q_r = \frac{2000 \times 0,8 \times 60}{68} = 1412 \text{ ед.}$$

Годовой экономический эффект от применения лучшего варианта можно рассчитать через массу наплавленного металла по формуле:

$$\mathcal{E}_r = Q_r \times \overline{\Delta c}, \quad (13)$$

где выражение  $\overline{\Delta c}$  представляет собой удельную экономию на 1 ед. изделия.

$$\mathcal{E}_r = 1412 \times 336 = 474432 \text{ руб/год.}$$

Итак, более выгоден второй вариант, то есть РД модулированным током. Этот вариант нам обходится дешевле на 336 руб/изд и годовой экономический эффект от применения лучшего варианта составляет 474432 руб/год.

Проведен технико-экономический анализ процесса сборки и сварки участка трубопровода ручной дуговой сваркой и РД модулированным током. Штучно-калькуляционное время при РД сварке составляет 94 мин, а при использовании РД модулированным током – 68 мин.

По затратам на сварку изделия выгодна РД модулированным током. Она нам обходится дешевле на 336 руб./ст и годовой экономический эффект от применения лучшего варианта составляет 474432 руб/год. Из показателей экономической оценки инвестиций можно сделать вывод, что внедрение РД модулированным током выгодно.

## **8 Социальная ответственность**

В этом разделе приводится анализ технологического процесса сборки и сварки неповоротных стыков труб диаметром 114 мм, с точки зрения наличия или возможного появления опасных и вредных факторов, а также воздействия их на работающих.

Рабочее место расположено на открытом воздухе. Местность заболоченная, равнинная. Климат умеренный.

При сварке осуществляются следующие операции: сборка, ручная дуговая сварка, слесарные операции.

### **8.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности**

8.1.1 Специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства

Требования по охране труда при эксплуатации трубопроводов определяются Федеральным законом от 21 июля 1997 г. N 116-ФЗ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов», Федеральным законом от 22 июля 2008 г. N 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» (п.4 от технологических эстакад и трубопроводов - от крайнего трубопровода), Земельным кодексом РФ от 10 июля 1998 г. N 1736 (Статья 28.1. Охранные зоны трубопроводов) и Уголовным кодексом Российской Федерации от 13 июня 1996 г. N 63-ФЗ (УК РФ) (Статья 269. Нарушение правил безопасности при строительстве, эксплуатации или ремонте магистральных трубопроводов)

Ответственность за соблюдение требований промышленной безопасности, а также за организацию и осуществление производственного контроля несут руководитель эксплуатирующей организации и лица, на которых возложены такие обязанности в соответствии с должностными инструкциями.

Согласно Федеральному закону от 21 июля 1997 г. N 116-ФЗ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов»

трубопровод и входящие в его состав объекты, относятся к опасным производственным объектам.

Декларация промышленной безопасности опасных производственных объектов должна содержать требования к трубопроводам.

К работам по эксплуатации трубопровода допускаются лица не моложе 18 лет, прошедшие в установленном порядке инструктаж, подготовку, не имеющие медицинских противопоказаний при работе на опасных производственных объектах.

Обслуживание и ремонт технических средств трубопроводов должны осуществляться на основании соответствующей лицензии, выданной федеральным органом исполнительной власти, специально уполномоченным в области промышленной безопасности, при наличии договора страхования риска ответственности за причинение вреда при их эксплуатации.

Инструкции по охране труда разрабатываются руководителями участков, лабораторий и т.д. в соответствии с перечнем по профессиям и видам работ, утвержденным руководителем предприятия.

#### 8.1.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны

При изготовлении осуществляются следующие операции: сборка стыка трубы, ручная дуговая сварка, слесарные операции. При сварке труб диаметром 114 мм на участке используется следующее оборудование:

Сварочный выпрямитель ВДМ–1202С	1 шт.
Импульсный модулятор ИРС-300 РП	1 шт.
Углошлифовальная машина Makita	1 шт.

В качестве основного материала используют сталь марки 09Г2С, применяется ручная дуговая сварка электродами с покрытием марки LB 52U и ОК 53.70 диаметром 3,2 мм.

Рабочее место сварщика соответствует требованиям ГОСТ 12.2.032-78.

## 8.2 Производственная безопасность

Разрабатываемая технология сварки предполагает использование ручной дуговой сварки электродами с покрытием сварочного выпрямителя ВДМ-1202С, с точки зрения социальной ответственности целесообразно рассмотреть вредные и опасные факторы, которые могут возникать при разработке технологии или работе с оборудованием, а также требования по организации рабочего места [29].

8.2.1 Анализ потенциально возможных и опасных факторов, которые могут возникнуть на рабочем месте при проведении исследований

Для выбора факторов использовался ГОСТ 12.0.003-2015 «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация» [30]. Перечень опасных и вредных факторов, характерных для проектируемой производственной среды представлен в виде таблицы 24.

Таблица 24 – Опасные и вредные факторы при выполнении работ по разработке программного модуля

Источник фактора, наименование вида работ	Факторы (по ГОСТ 12.0.003-2015)		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	
1) Ручная дуговая сварка покрытыми электродами 2) Работа со сварочным оборудованием	1. Недостаточная освещенность рабочей зоны; [31,33]; 2. Повышенный уровень шума на рабочем месте; [34]; 3. Неудовлетворительный климат [30]; 4. Укусы насекомых и животных; 5. Вредные вещества; 6. Психофизические факторы: повышенная нагрузка на органы чувств (зрение, слух), тяжелая физическая работа, монотонность труда, высокий уровень интенсивности деятельности.	1. Электрический ток 2. Статическое электричество [32]; 3. Термические ожоги	СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03  СанПиН 2.2.4.3359-16 СП 52.13330.2016 СанПиН 2.2.4.548-96 СН 2.2.4/2.1.8.562-96 ГОСТ 30494-2011

8.2.2. Разработка мероприятий по снижению воздействия вредных и опасных факторов

Электробезопасность:

Согласно ПУЭ все электроустановки по условиям электробезопасности принято разделять на 2 группы:

- электроустановки напряжением до 1000 В (1 кВ);
- электроустановки напряжением выше 1000 В (1 кВ).

В нашем случае применяемое сварочное оборудование (выпрямитель ВДМ-1202С) работает от напряжения 380 В, следовательно, относиться к 1 категории опасности [35].

Наиболее распространенными причинами электротравматизма являются:

- появление напряжения там, где его в нормальных условиях быть не должно (на корпусах оборудования, на металлических конструкциях сооружений и т.д.); чаще всего это происходит вследствие повреждения изоляции;

- возможность прикосновения к незаземленным токоведущим частям при отсутствии соответствующих ограждений;

- воздействие электрической дуги, возникающей между токоведущей частью и человеком в сетях напряжением выше 1000 В, если человек окажется в непосредственной близости от токоведущих частей;

- прочие причины: несогласованные и ошибочные действия персонала, подача напряжения на установку, где работают люди, оставление установки под напряжением без надзора, допуск к работам на отключенном электрооборудовании без проверки отсутствия напряжения и т.д.

В качестве обеспечения вопросов электробезопасности для труб наиболее актуальны:

- молниезащита;
- защитное заземление.

Инструкция по работе с оборудованием:

- 1) Используемое оборудование должно быть заземлено.

2) В начале смены необходимо проверить непрерывность цепи между зажимом защитного заземления на электроустановке.

3) Запрещается включать электрооборудование в сеть при поврежденной изоляции шнура питания.

4) Запрещается работать с неисправным оборудованием.

5) Запрещается самостоятельно устранять неисправности электрооборудования, ремонт осуществляет работник требуемой квалификации.

#### Освещение:

Основной задачей производственного освещения является поддержание на рабочем месте освещенности, соответствующей характеру зрительной работы.

Территория сварочного участка по монтажу и прокладке трубопровода в темное время суток должна иметь освещение в соответствии с требованиями СНиП 23-05-95\* «Естественное и искусственное освещение» и СНиП 2.11.03-93. Устройство электроосвещения должно соответствовать требованиям «Правил устройства электроустановок».

Для освещения сварочно-монтажных участков следует применять прожекторы на мачтах.

Осветительные устройства должны быть во взрывозащищенном исполнении в соответствии с установленными требованиями:

- не допускается применение открытых газоразрядных ламп и ламп накаливания с прозрачной колбой;
- питание устройств производится от сети переменного тока частотой 50 Гц и постоянного тока;
- мачты для установки должны обеспечиваться молниезащитой.

Согласно, ГОСТ 12.1.046-85 Нормы освещения строительных площадок, наименьшая освещенность должна быть 50 лк.

Освещение на рабочем месте сварщика соответствует допустимым нормам.

#### Шум



Шум стал фактором социального значения. Слабые шумы до 30 дБ (шелест листвы, тихая музыка, шум прибоя) действуют на человека успокаивающе. Шум в 90-120 дБ (от автотранспорта, метро, реактивных самолетов, строительных механизмов и даже музыки на дискотеках) воспринимается как грохот. Такие шумы раздражают, разрушают нервные клетки, приводят к возникновению опасных психических заболеваний. От длительного воздействия шума возникают нарушение и потеря слуха, патологические изменения в вегетативной нервной системе, расстройство периферического кровообращения, гипертония. Шум в 80 дБ снижает работоспособность, увеличивает колебания артериального давления, резко ухудшает ориентацию в пространстве и восприятие происходящего [36].

Уровень шума на рабочем месте сварщика не более 80 дБА и соответствует нормам.

#### Вредные вещества

Эксплуатация трубопроводов не должна приводить к загрязнению окружающей среды (воздуха, поверхностных вод, почвы) загрязняющими веществами выше допустимых норм.

Вредными основными веществами, выделяющимися при сварке сталей, являются: окись углерода, хром, марганец и фтористые соединения.

Значения ПДК вредных веществ в воздухе рабочей зоны приведены в таблице 25 согласно ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ. Общие санитарно - гигиенические требования к воздуху рабочей зоны [37].

Таблица 25 – Предельно допустимые концентрации вредных веществ, которые выделяются в воздухе при сварке металлов [37]

Название	Вещество ПДК в воздухе рабочей зоны, мг/м <sup>3</sup>	Класс опасности
Твердая составляющая сварочного аэрозоля		
Марганец (при его содержании в сварочном аэрозоле до 20%)	0,2	2

Железа оксид	6,0	3
Кремний диоксид	1,0	2
Хром (III) оксид	1,0	2
Хром (VI) оксид	0,01	1
Газовая составляющая сварочного аэрозоля		
Азот диоксид	2,0	3
Марганец оксид	0,3	2
Озон	0,1	1
Углерода оксид	20,0	4
Фтористый водород	0,5/1,0	2

Для защиты от вредного воздействия воздушных загрязнений (при превышении ПДК) работодатель обязан использовать самый последний, и самый ненадёжный метод – применение средств индивидуальной защиты органов дыхания, кожи, глаз.

Содержание вредных веществ в воздухе рабочей зоны сварщика соответствует допустимым нормам.

### Климат

Работы по монтажу нефтепровода проводятся на открытом воздухе. В зимний и летний периоды это накладывает требования по особой организации процесса работ в соответствии с СанПиНом 2.2.3.1384-03 «Гигиенические требования к организации строительного производства и строительных работ».

В зимнее время:

- работающие на открытой территории в холодный период года обеспечиваются комплектом средств индивидуальной защиты (СИЗ) от холода с учетом климатического региона (пояса). При этом комплект СИЗ должен иметь положительное санитарно-эпидемиологическое заключение с указанием величины его теплоизоляции.

- во избежание локального охлаждения работающих следует обеспечивать рукавицами, обувью, головными уборами применительно к конкретному климатическому региону (поясу). На рукавицы, обувь, головные уборы должны

иметься положительные санитарно-эпидемиологические заключения с указанием величин их теплоизоляции.

- в целях нормализации теплового состояния работника температура воздуха в местах обогрева поддерживается на уровне 21-25°C. Помещение следует также оборудовать устройствами, температура которых не должна быть выше 40°C (35 - 40°C), для обогрева кистей и стоп.

- продолжительность первого периода отдыха допускается ограничить 10 минутами, продолжительность каждого последующего следует увеличивать на 5 минут.

- в обеденный перерыв работник обеспечивается "горячим" питанием. Начинать работу на холоде следует не ранее, чем через 10 минут после приема "горячей" пищи (чая и др.).

- при температуре воздуха ниже - 30°C не рекомендуется планировать выполнение физической работы категории выше IIa. При температуре воздуха ниже - 40°C следует предусматривать защиту лица и верхних дыхательных путей.

В летнее время:

- в целях профилактики перегревания работников при температуре воздуха выше допустимых величин, время пребывания на этих рабочих местах следует ограничить.

- время непрерывного пребывания на рабочем месте не адаптированному к нагревающему микроклимату, сокращается на 5 минут, а продолжительность отдыха увеличивается на 5 минут.

- профилактике нарушения водного баланса работников в условиях нагревающего микроклимата способствует обеспечение полного возмещения жидкости, различных солей, микроэлементов (магний, медь, цинк, йод и др.), растворимых в воде витаминов, выделяемых из организма с потом.

- для оптимального водообеспечения работающих целесообразно размещать устройства питьевого водоснабжения (установки газированной воды

- сатураторы, питьевые фонтанчики, бачки и т.п.) максимально приближенными к рабочим местам, обеспечивая к ним свободный доступ.

- для восполнения дефицита жидкости целесообразно предусматривать выдачу работающим чая, минеральной щелочной воды, клюквенного морса, молочнокислых напитков (обезжиренное молоко, пахта, молочная сыворотка), отваров из сухофруктов при соблюдении санитарных норм и правил их изготовления, хранения и реализации.

Мероприятия по организации процесса работы в летнее и зимнее время для защиты от воздействия климатических условий на сварщиков соответствует допустимым нормам.

### Статическое электричество

От накопления и опасных проявлений статического электричества защита основана на следующих принципах:

- рассеяние возникающих электростатических зарядов путем увеличения проводимости самих материалов и окружающей среды;
- уменьшение процесса генерации электрических зарядов (ограничение скорости переработки и транспортирования материалов);
- исключение опасных разрядов статического электричества (заземление проводящих объектов).

Заземление является обязательной мерой защиты от статического электричества, но на процесс накопления электростатических зарядов в диэлектриках оно практически не влияет. Повышенное внимание должно уделяться заземлению различных передвижных объектов или вращающихся элементов оборудования. Оборудование считается электростатически заземленным, если сопротивление в любой его точке при самых неблагоприятных условиях не превышает 10<sup>6</sup> Ом. Заземление диэлектрического оборудования может быть осуществлено нанесением на его поверхность проводящих покрытий (пленок).

Для отвода в землю зарядов статического электричества с электропроводящей подошвой, антиэлектростатическая спецодежда и предусматривается устройство электропроводящих полов.

На рабочем месте сварщика используемое оборудование заземлено и обеспечивает защиту от воздействия статического электричества.

#### Термические ожоги

Термические ожоги могут вызывать ожог кожных покровов частей тела, лица и органов зрения. Основной причиной ожога являются брызги раскаленного металла, искры и шлак, так же поверхность металла, на котором происходила сварки.

Для защиты сварщика необходимо применение средств индивидуальной защиты таких как сварочные краги, маска, брезентовый сварочный костюм или фартук.

Применение качественных сварочных материалов позволит повысить стабильность процесса сварки и уменьшить разбрызгивание.

Новые сварочные аппараты за счет функции стабилизации сварочной дуги позволяют уменьшить разбрызгивания и искры при сварке.

На рабочем месте сварщика защита от термических ожогов соответствует нормам.

#### Укусы насекомых и животных

При работе на открытой местности в летнее время работники могут подвергнуться укусам кровососущих насекомых. Несмотря на то, что большинство укусов могут вызвать лишь зуд, другие могут быть чрезвычайно опасными и принести огромное количество проблем со здоровьем, если на укус сразу не обратить внимание.

Согласно, Р 3.5.2.2487-09 Руководство по медицинской дезинсекции, для предотвращения укусов насекомых рекомендуется применять защитную одежду. Защитный эффект в данном случае достигается механически. Ткань одежды должна быть достаточно плотной, либо иметь особое плетение нитей, не допускающее проникновение ротовых частей насекомого к поверхности тела

человека. Разработан вариант защиты с помощью двух рубашек: нижняя из крупноячеистого достаточно объёмного трикотажного полотна (хлопчатобумажная пряжа), верхняя – из тонкого и прочного мелкоячеистого трикотажного полотна. В данном случае реализуется известный принцип механического способа защиты человека от гнуса – создание между поверхностью одежды и телом человека пространства, превосходящего по глубине длину хоботка нападающих кровососов. Защиту головы следует осуществлять, используя головной убор типа «Накомарник» из мелкоячеистого трикотажного полотна, закрывающего лицо. Открытые части тела человека можно защищать с помощью репеллентов.

На рабочем месте сварщика защита от укусов насекомых и животных соответствует нормам

#### Психофизические факторы

Основные психофизическими факторами при работе сварщиков на участке являются повышенная нагрузка на органы чувств (зрение, слух), тяжелая физическая работа, монотонность труда, высокий уровень интенсивности деятельности.

Для предотвращения получения травм рекомендуется:

- произвести уменьшение плотности рабочего времени;
- исключить перебои в работе и настроить ритмизация трудовых процессов;
- наладить правильный режим труда и отдыха, в частности 30 минутный перерыв после каждых двух часов непрерывной работы или 15 минутный перерыв на каждый час работы.

На рабочем месте сварщика защита от влияния психофизических факторов соответствует нормам.

### **8.3 Экологическая безопасность**

В данном подразделе рассматривается характер воздействия проектируемого решения на окружающую среду. Выявляются предполагаемые источники загрязнения окружающей среды, возникающие в результате реализации предлагаемых в ВКР решений.

#### **8.3.1 Анализ влияния объекта исследования на окружающую среду**

В целях обеспечения готовности к действиям по локализации и ликвидации последствий аварии необходимо планировать и осуществлять мероприятия по локализации и ликвидации последствий аварий на сварочном участке монтажа трубопровода.

На каждом производственном участке должна находиться аптечка с необходимым запасом медикаментов и перевязочных материалов по установленному перечню, согласованному с медицинскими службами.

Весь производственный персонал должен быть обучен способам оказания первой помощи, пострадавшим при несчастных случаях.

Для борьбы с паводковыми водами необходимо заготовить запас инструмента и инвентаря (лопаты, мешки с песком, лодки и т.п.). Период прохождения весеннего паводка уточняется в местных отделениях гидрометеорологической службы.

#### **8.3.2 Анализ влияния процесса исследования на окружающую среду**

Для достижения норм ПДС загрязняющих веществ со сточными водами необходимо осуществлять мероприятия по уменьшению количества сбрасываемых сточных вод и повышению глубины их очистки.

Уменьшение количества сбрасываемых сточных вод может быть обеспечено за счет повторного использования очищенных сточных вод на производственные нужды и сокращения общего потребления воды для этих целей, предотвращения утечек нефтепродуктов из-за неплотностей запорной

арматуры, фланцевых, муфтовых соединений, сварных стыков, коррозионных повреждений резервуаров и трубопроводов; вследствие переливов, что приведет к уменьшению количества загрязненных нефтепродуктами производственно-ливневых стоков, сбрасываемых в канализационную сеть.

Утилизация электронных и электрических приборов, устройств и их частей это достаточно трудоемкий и требующий специальных навыков и оборудования процесс.

В электронных и электрических приборах содержатся не мало опасных и токсичных веществ, таких как свинец, кадмий, сурьма, которые под воздействием внешних природных факторов могут нанести большой вред окружающей среде и здоровью человека.

Необходимость в профессиональной утилизации также возникает в связи с тем, что внутри микросхем, плат, содержатся детали, с определенной долей драгоценных металлов, которые требуют особого учета и контроля. Поэтому в случае несанкционированного захоронения (вывоза на свалку) подобные отходы представляют не только серьезную угрозу для здоровья человека из-за содержащихся в них опасных веществ, но и ведут к утере ценных компонентов, которые могут использоваться вторично.

Утилизацией отработанных микросхем оборудования занимается специализированная компания.

## **8.4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях**

8.4.1 Анализ вероятных ЧС, которые могут возникнуть при проведении исследований и обоснование мероприятий по предотвращению ЧС

При проведении исследований наиболее вероятной ЧС является возникновение пожара.

Источники зажигания, приводящие к пожарам на взрывопожароопасных объектах, весьма разнообразны:

- разряды атмосферного электричества;



- фрикционные искры;
- самовозгорание пирофорных отложений;
- открытое пламя и искры;
- короткое замыкание кабеля или воздушных линий электропередач, проходящих в непосредственной близости от участка монтажа трубопровода;
- преступные действия людей.

Сборка и сварка трубопровода диаметром 114 мм осуществляется с применением следующего ряда оборудования: выпрямитель ВДМ-1202С, углошлифовальная машина Makita, газовый резак.

При эксплуатации трубопроводов должны соблюдаться требования пожарной безопасности, установленные «Правилами пожарной безопасности в Российской Федерации» СНиП 2.11.03-93, «Правилами пожарной безопасности при эксплуатации предприятий нефтепродуктообеспечения» [38, 39].

Меры пожарной безопасности и безопасных условий труда определяются исходя из конкретных условий проведения ремонтных работ, при условии строго исполнения действующих норм и правил по пожарной безопасности и охране труда.

К огневым работам относятся производственные операции, связанные с применением открытого огня, новообразованием и нагреванием до температуры, способной вызвать воспламенение материалов и конструкций (электрическая и газовая сварка, бензиновая, керосиновая или кислородная резка, кузнечные и котельные работы с применением паяльных ламп и разведением открытого огня).

Огневые работы можно производить только после выполнения всех подготовительных мероприятий, обеспечивающих полную безопасность работ.

При проведении огневых работ рабочие должны быть обеспечены спецодеждой не имеющей следов нефтепродуктов, защитными масками (очками) и другими специальными средствами защиты.

При проведении огневых работ на рабочем месте должны быть размещены первичные средства пожаротушения.

При проведении огневых работ баллоны со сжатым, сжиженным и растворенными газами не должны иметь контактов с электропроводящими кабелями.

Огневые работы должны проводиться исправным инструментом и заземленным сварочным оборудованием. Запрещено использовать приставные лестницы.

Огневые работы должны быть немедленно прекращены при обнаружении несоблюдения мер безопасности, предусмотренных в наряде-допуске на огневые работы, появления в воздухе рабочей зоны паров нефтепродукта или горючих газов, а также возникновении опасной ситуации.

По окончании огневых работ место их должно быть тщательно проверено и очищено от раскаленных огарков, окалины или тлеющих предметов, а при необходимости залито водой.

По периметру и внутри сварочного участка должны быть вывешены знаки безопасности, выполненные и определяющие противопожарный режим на их территории (запрещение разведения открытого огня, ограничение проезда автотранспорта и др.)

По пожарной и взрывопожарной опасности сварочный участок трубопровода относится к категории повышенная взрывопожароопасность (А).

В качестве средств пожаротушения на территории участка:

- баки-дозаторы «Гобсек»;
- пожарная вышка ПВ-10 "Феникс" У по ТУ 4854-011-54883547-11;
- огнетушители воздушно-пенные ОВП-4.

Рассмотрены вредные и опасные факторы, которые могут возникать при разработке технологии или работе с оборудованием, а также требования по организации рабочего места с точки зрения социальной ответственности.

Даны рекомендации по организации мероприятий по уменьшению количества сбрасываемых сточных вод и повышению глубины их очистки.

Составлен перечень рекомендуемых средств пожаротушения на территории сварочного участка.

Разработанные мероприятия возможно внедрить на территории предприятия, они позволят повысить уровень безопасности и снизить риск возникновения профессиональных заболеваний, вызванных вредными факторами.

## **Заключение**

В результате выполнения выпускной квалификационной работы был разработан процесс сборки и сварки неповоротных стыков труб диаметром 114 мм из стали 09Г2С.

Были подобраны сварочные материалы, рассчитаны режимы сварки и произведен выбор сварочного оборудования, в том числе импульсного модулятора.

Разработано приспособление для сборки и сварки, позволяющие удобнее и быстрее собирать «плеть» трубопровода.

Составлен комплект технологического описания процесса сборки и ручной дуговой сварки покрытыми электродами модулированным током.

Проведен расчет временных затрат на выполнение сварочных работ, штучно-калькуляционное время при РД сварке составляет 94 мин, а при использовании РД модулированным током – 68 мин, что составляет экономию времени на 28 %.

Проведен технико-экономический анализ процесса сборки и сварки участка нефтепровода ручной дуговой сваркой и РД модулированным током.

По затратам на сварку изделия выгодна РД модулированным током. Она нам обходится дешевле на 336 руб./ст и годовой экономический эффект от применения лучшего варианта составляет 474432 руб/год.

Для обеспечения безопасности производства были выявлены вредные и опасные факторы на сварочном участке и предложены меры по их устранению или защите от них.

## **Список используемых источников**

1. Э.Л. Макаров. Сварка и свариваемые материалы. М.: Металлургия, 1991. – 527 с.
2. РД-153-39.4-056-00 Руководящий документ. Правила технической эксплуатации магистральных нефтепроводов.
3. ГОСТ 8731-74 Трубы стальные бесшовные горячедеформированные. Технические требования (с Изменениями N 2-6).
4. ГОСТ 19282-73 Сталь низколегированная толстолистовая и широкополосная универсальная. Технические условия.
5. Сварка в машиностроении: Справочник. В 4-х т./ Ред. кол.: Г.А.Николаева (пред.) и др. – М.: Машиностроение, 1979 - Т.3/ Под ред. В.А. Винокурова. 1979. 567с., ил.
6. Акулов А.И., Бельчук Г. А., Деменцевич В.П. Технология и оборудование сварки плавлением. М.: Машиностроение, 1977. -432 с.
7. РД-08.00-60.30.00-КТН-050-1-05 Руководящий документ. Сварка при строительстве и капитальном ремонте магистральных нефтепроводов.
8. РД 153-006-02 Инструкция по технологии сварки при строительстве и капитальном ремонте магистральных нефтепроводов.
9. Д.А. Дудко, В.С. Сидорук, С.А. Зацерковный, Н.М. Махлин, В.Г.Векулов. Технология ручной дуговой сварки покрытыми электродами с модуляцией параметров режима // Автоматическая сварка, 1991. - № 12, с.62-66.
10. А.с. РФ1131618. Способ электродуговой сварки модулированным током / Р.И. Дедюх, А.Ф. Князьков и др.-Заявл.04.01.84 - Оpubл. в Б.И. в 1984, № 48.
11. А.с. РФ904934. Способ ручной дуговой сварки модулированным током/ А.Ф. Князьков, А.Г. Мазель, Р.И. Дедюх и др.-Оpubл. в Б.И. в 1982, № 6.
12. Пат. РФ2268809, МПК В 23 К 9/095. Способ электродуговой сварки с импульсной модуляцией тока / А. Ф. Князьков, В. Л. Князьков, С.А. Князьков - Заявл. 12.02.2004.

13. Сварка в машиностроении: Справочник. В 4-х т./Ред. С 24 кол.: Г.А.Николаева (пред.) и др. – М.: Машиностроение, 1978 - - Т.1/ Под ред. Н.А.Ольшанского. 1978. 504 с., ил.

14. Т.Г. Шигаев. О терминалогии сварки модулированным током // Автоматическая сварка, 1991. - №8, 21 с.

15. В.Н. Липодаев, В.В. Снисарь, В.П. Елагин, В.С. Сидорук. Влияние модуляции сварочного тока на структуру и трещиностойкость швов // Автоматическая сварка, 1991. - №2, 36 с.

16. Д.А. Дудко, В.С. Сидорук, С.А. Зацерковный. Зависимость химического состава металла шва от параметров режима ручной дуговой сварки модулированным током. // Автоматическая сварка, 1989. - №2, 41 с.

17. Дудко, В.С. Сидорук, С.А. Зацерковный, Н.М. Махлин. Влияние параметров режима ручной дуговой сварки модулированным током на форму шва. // Автоматическая сварка, 1987. - №6, 289 с.

18. ГОСТ 9466-75 Электроды покрытые металлические для ручной дуговой сварки сталей и наплавки. Классификация и общие технические условия

19. ГОСТ 16037-80. Соединения сварные стальных трубопроводов. Основные типы, конструктивные элементы и размеры (с Изменением N 1).

20. Расчёт режимов дуговой сварки. Методические указания к курсовому и дипломному проектированию. Изд-во Томского политехнического университета, 2008 - 41 с.

21. Сварка в машиностроении: Справочник. В 4-х т./ Ред.С 24 кол.: Г.А.Николаева (пред.) и др. – М.: Машиностроение, 1978 - - Т.4/ Под ред. А.И.Акулова. 1978. 462 с., ил.

22. ГОСТ 14254-96 Степени защиты, обеспечиваемые оболочками (код IP).

23. ГОСТ 17516.1-90 Изделия электротехнические. Общие требования в части стойкости к механическим внешним воздействующим факторам (с Изменениями N 1, 2).

24. РД 39-0147014-535-87 Инструкция по сварке при монтаже и ремонте

трубопроводов и ответственных металлоконструкций в организациях и на предприятиях Миннефтепрома.

25. ОСТ 102-51-85 Контроль неразрушающий. Сварные соединения трубопроводов. Радиографический метод.

26. А.Д. Гитлевич и др. Техническое нормирование технологических процессов в сварочных цехах – М: Машгиз, 1962 – 427 с.

27. Грачева К.А. Экономика, организация и планирование сварочного производства: Учебное пособие. М.: Машиностроение, 1984. - 368 с.

28. Прокофьев Ю.С. Организация планирование и управлением предприятием: Методические указания к выполнению курсовой работы. – Томск: изд. ТПУ, 1987. – 38с.

29. Методические указания по разработке раздела «Социальная ответственность» выпускной квалификационной работы магистра, специалиста и бакалавра всех направлений (специальностей) и форм обучения ТПУ, Томск 2019. – 29 с.

30. ГОСТ 12.0.003-2015 Опасные и вредные производственные факторы. Классификация, 2015.

31. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий, 2003.

32. СанПиН 2.2.4.1191-03 Электромагнитные поля в производственных условиях, 2003.

33. СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение, 2016.

34. СН 2.2.4/2.1.8.562–96, Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки, 1996.

35. Дашковский А.Г. Расчет устройства защитного заземления. Методические указания к выполнению самостоятельной работы по дисциплине «Электробезопасность» для студентов всех специальностей ЭЛТИ. Томск, изд. ТПУ, 2010. – 8 с.

36. ГОСТ 12.4.124-83 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Средства защиты от статического электричества. Общие технические требования, 1984.

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

38. СНиП 2.11.03-93 «Правилами пожарной безопасности в Российской Федерации»,

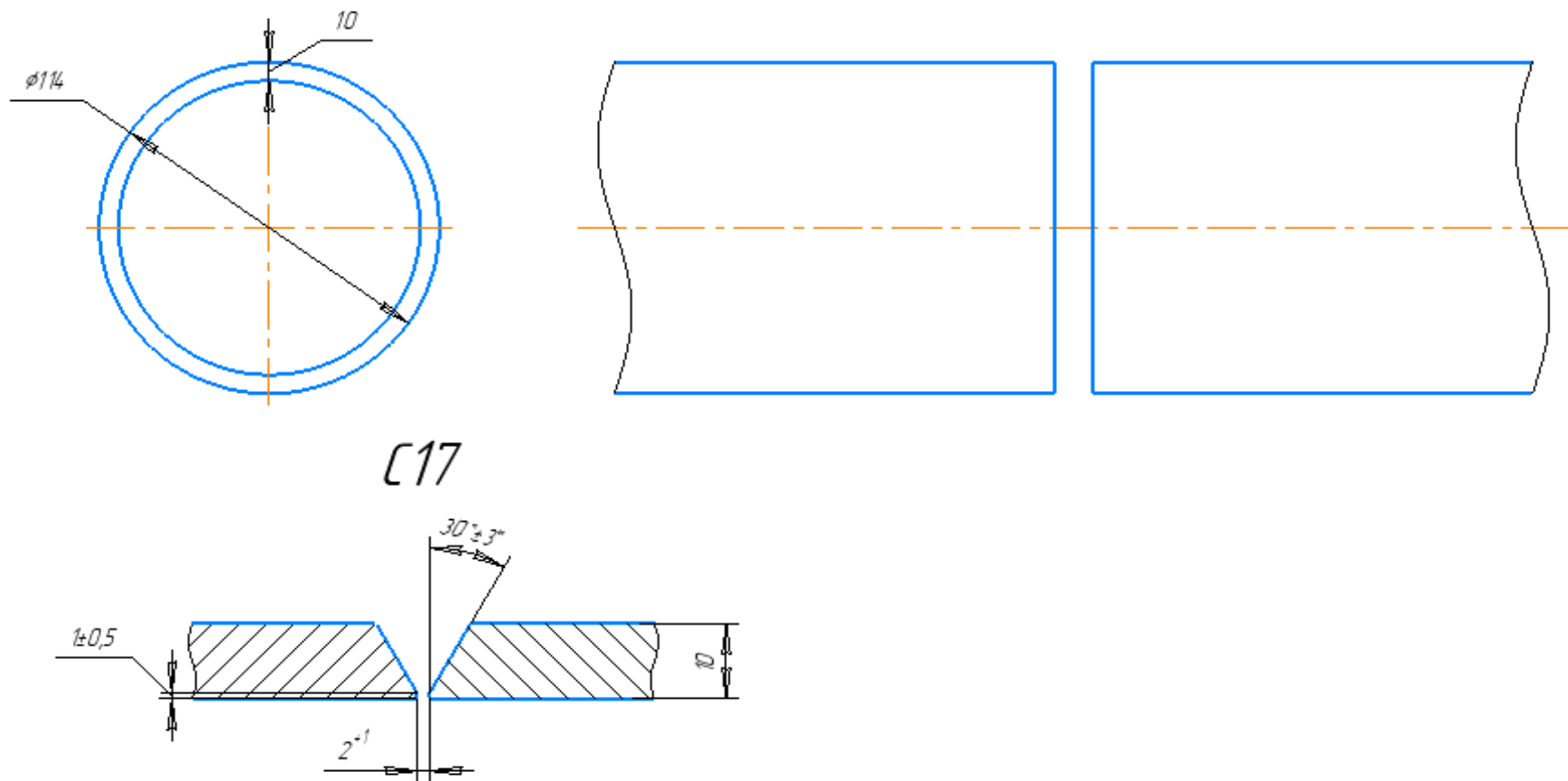
39. Правилами пожарной безопасности при эксплуатации предприятий нефтепродуктообеспечения



**Приложение А**  
**(обязательное)**  
**Комплект технологической документации**

Дубл.			
Взам.			
Подл.			

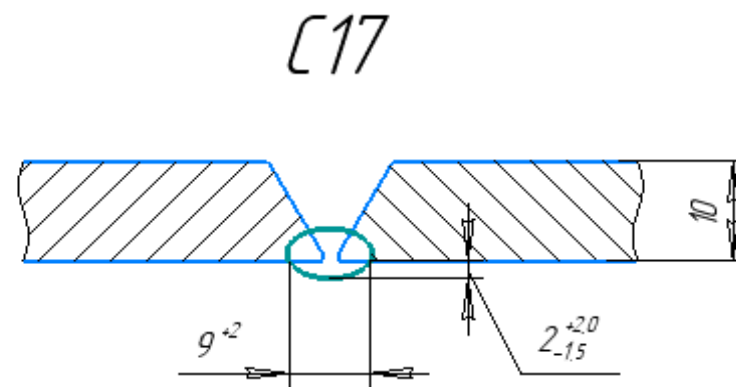
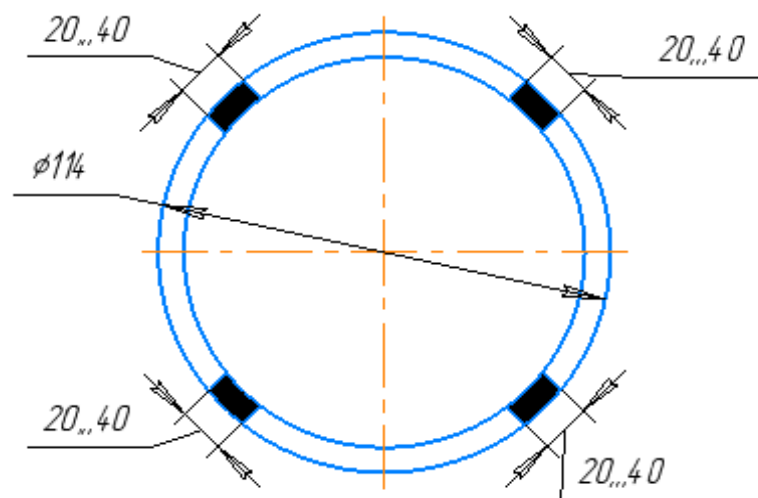

					ФЮРА 02190.00010			5	1
Разраб.	Константинов С.С.			ИНК ТПУ Группа 3-1В51	ФЮРА 02190.00001		ФЮРА 20190.0001		
Пров.									
Н.контр.	Киселев А.С.			Сварное соединение трубы Ø114x14 из стали 09Г2С			у		005



Дубл.			
Взам.			
Подл.			

2

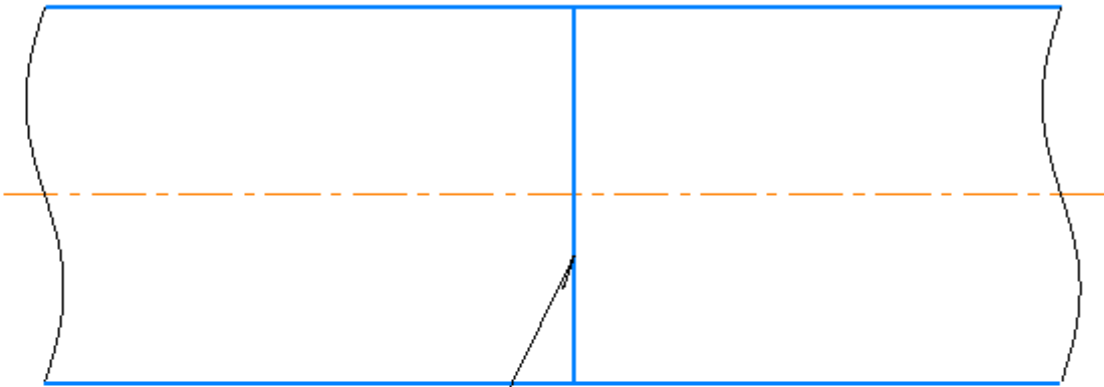
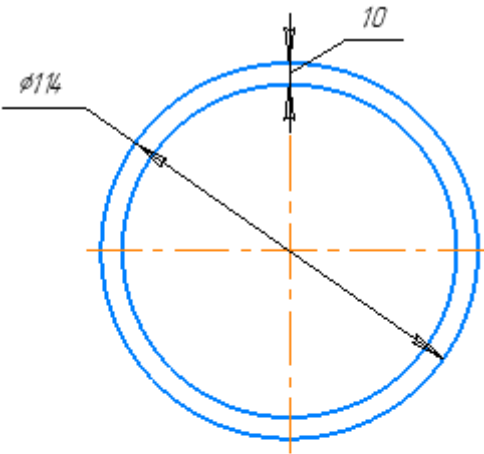
ФЮРА 20190.0002



## Карта эскизов

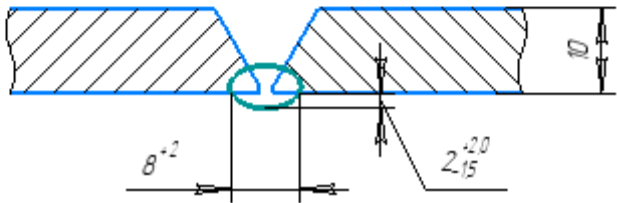
Дубл.			
Взам.			
Подл.			


								ФЮРА 02190.00010	3
								ФЮРА 20190.0003	



ГОСТ 16037-80-С17

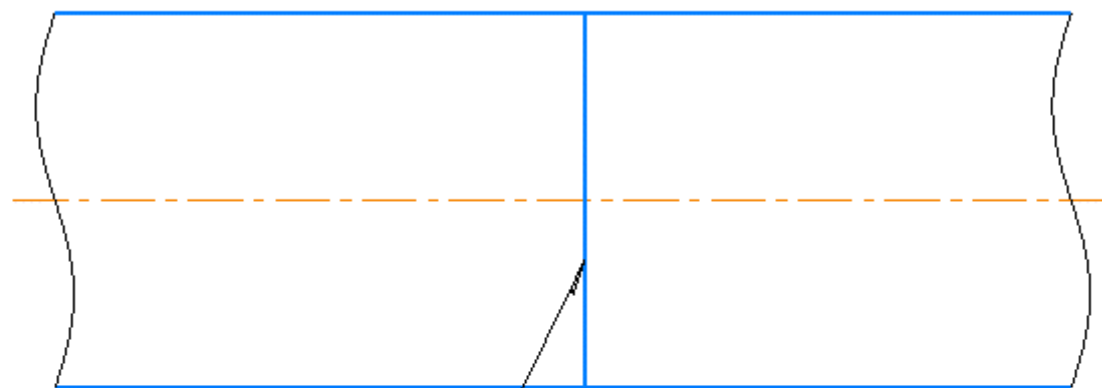
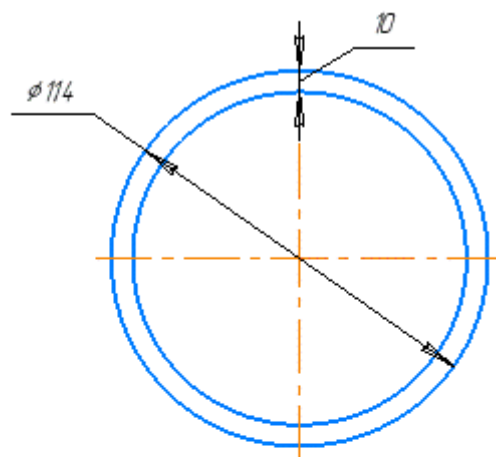
С17



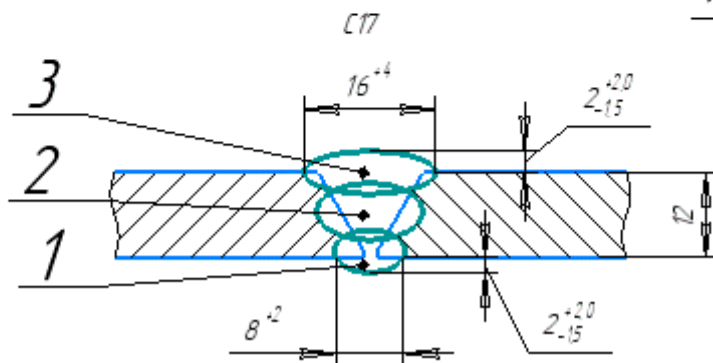
Дубл.			
Взам.			
Подл.			


4

ФЮРА 20190.0004

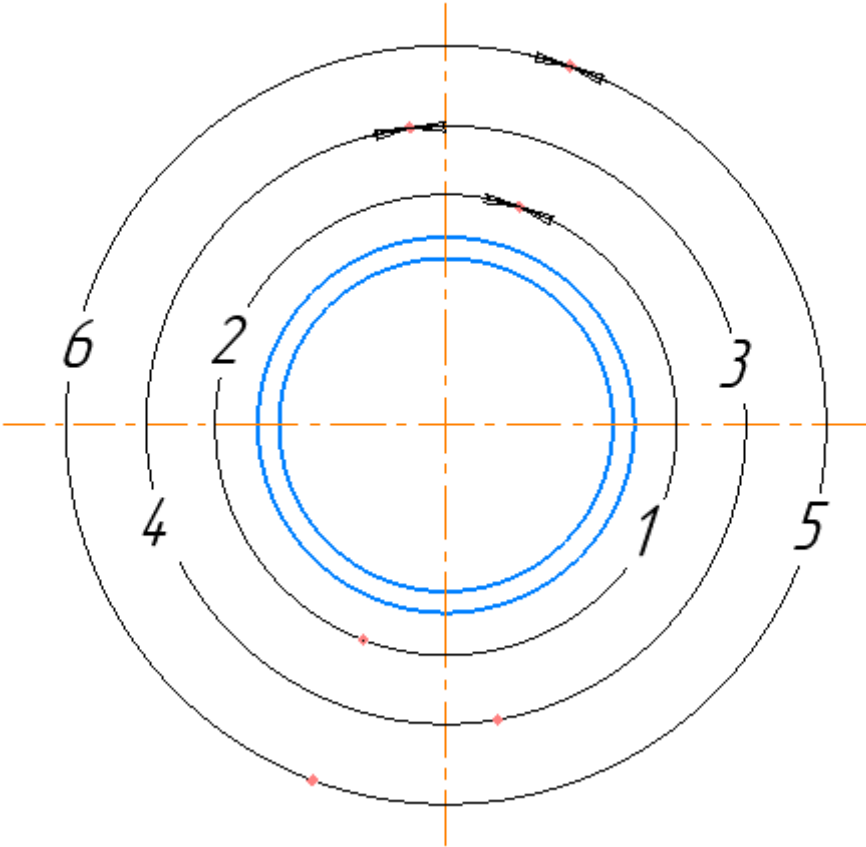


ГОСТ 16037-80-[17]



Дубл.			
Взам.			
Подл.			


								ФЮРА 02190.00010	5
								ФЮРА 20190.0005	



ГОСТ 3.1118-82    форма 2																			
Дубл.																			
Взам.																			
Подл.																			
											ФЮРА.02190.00010			2	1				
Разраб.	Константинов С.С.					НИ ТПУ ИШНКБ								ФЮРА.10190.00001					
Руковод.						Группа 3-1В51													
Н.контр.	Киселев А.С.					Сварка трубопровода										у			
А	Цех	Уч.	РМ	Опер.	Код,наименование операции					Обозначение документа									
Б	Код,наименование оборудования					СМ	Проф.	Р	УТ	КР	КОИД	ЕН	ОП	Кшт.	Тпз	Тшт.			
К/М	Наименование детали,сб.единицы или материала					Обозначение,код					ОПП	ЕВ	ЕН	КИ	Н.расх.				
A01	1	1	1	005	Резка					РД 34.15.132-96									
B02	Установка PSG FEN					2	18466	5	2	2									
O03	Отрезать заготовку согласно ФЮРА.20190.00001																		
04																			
A05	1	1	1	010	Сборочная					ГОСТ Р 51839.1-2001									
B06	Наружный звеньевой центратор ЦЗН 114, приспособление ФЮРА.20190.010СБ					2	18466	5	2	2									
O07	Собрать стык трубопровода в приспособлении согласно чертежу ФЮРА.20190.010СБ																		
T08	УШС-3																		
09																			
A10	1	1	1	015	Сборочно-сварочная					ГОСТ 16037-80; РД 39-0147014-535-87									
B11	ВДМ-1202С, ИРС-300 РП					1	19906	6	1	2									
B12	УШМ Bosch					1	18466	5	1	2									
M13	Круги отрезные (толщина 1,6-2,0 мм) и абразивные (толщины 4-6 мм)					ГОСТ 21963-2002													
M14	Электроды LB 52U Ø3,2 мм; электроды ОК 53.70 Ø3,2 мм																		
O15	Проставить 4 прихватки длиной 20-40 мм согласно ФЮРА.20190.00002. Зачистить от шлака и брызг.																		
МК																			

														ГОСТ 3.1118-82    форма 2а						
Дубл.																				
Взам.																				
Подл.																				
												ФЮРА.02190.00010		2						
													ФЮРА.10190.00002							
А	Цех	Уч.	РМ	Опер.	Код,наименование операции				Обозначение документа											
Б					Код,наименование оборудования				СМ	Проф.	Р	УТ	КР	КОИД	ЕН	ОП	Кшт.	Тпз	Тшт.	
К/М					Наименование детали,сб.единицы или материала				Обозначение,код						ОПП	ЕВ	ЕН	КИ	Н.расх.	
T01					Щиток НН-0-3054, щетка металлическая															
02																				
A03	1	1	1	015	Сварочная				ГОСТ 16037-80; РД 39-0147014-535-87											
Б04					ВДМ-1202С, ИРС-300 РП				1	19906	6	1	2							
Б05					УШМ Bosch				1	18466	5	1	2							
M06					Круги отрезные (толщина 1,6-2,0 мм) и абразивные (толщины 4-6 мм)				ГОСТ 21963-2002											
M07					Электроды LB 52U Ø3,2 мм; электроды ОК 53.70 Ø3,2 мм															
O08	Сварить корневой шов согласно ФЮРА.20190.00003. Сварить заполняющий и облицовочный швы согласно ФЮРА.20190.00004. Последовательность сварки согласно ФЮРА.20190.00005, зачистить от брызг после каждого прохода.																			
T09					Щиток НН-0-3054, щетка металлическая															
10																				
A11	1	1	1	020	Контрольная				ОСТ 102-51-85											
Б12					Арина-7				2	11833	5	1	1							
O13	Провести радиографический контроль сварного шва																			
14																				
15																				
МК																				



## **Приложение Б**

**(обязательное)**

### **Приспособление для сборки и сварки трубопровода**

