

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

### БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
<b>Технология сборки и дуговой сварки труб из разнородных сталей</b>

УДК 621.791.75.01.052:621.644.073.5

#### Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1В71	Иванов Александр Георгиевич		

#### Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭИ	Киселёв А.С.	к.т.н., доцент		

#### КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН	Маланина В.А.	к.э.н., доцент		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Авдеева И.И.	-		

#### Нормоконтроль

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭИ	Арышева Г.В.	к.т.н., доцент		

#### ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
15.03.01 Машиностроение. Оборудование и технология сварочного производства	Першина А.А.	к.т.н., доцент		

## Планируемые результаты освоения ООП

Код компетенции	Наименование компетенции
<b>Универсальные компетенции</b>	
УК(У)-1	Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач
УК(У)-2	Способен определять круг задач в рамках поставленной цели и выбирать оптимальные способы их решения, исходя из действующих правовых норм, имеющихся ресурсов и ограничений
УК(У)-3	Способен осуществлять социальное взаимодействие и реализовывать свою роль в команде
УК(У)-4	Способен осуществлять деловую коммуникацию в устной и письменной формах на государственном языке Российской Федерации и иностранном(-ых) языке(-ах)
УК(У)-5	Способен воспринимать межкультурное разнообразие общества в социально-историческом, этическом и философском контекстах
УК(У)-6	Способен управлять своим временем, выстраивать и реализовывать траекторию саморазвития на основе принципов образования в течение всей жизни
УК(У)-7	Способен поддерживать должный уровень физической подготовленности для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности
УК(У)-8	Способен создавать и поддерживать безопасные условия жизнедеятельности, в том числе при возникновении чрезвычайных ситуаций
УК(У)-9	Способен проявлять предприимчивость в профессиональной деятельности, в т.ч. в рамках разработки коммерчески перспективного продукта на основе научно-технической идеи
<b>Общепрофессиональные компетенции</b>	
ОПК(У)-1	умеет использовать основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности, применять методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования
ОПК(У)-2	осознает сущности и значения информации в развитии современного общества
ОПК(У)-3	владеет основными методами, способами и средствами получения, хранения, переработки информации
ОПК(У)-4	способен решать стандартные задачи профессиональной деятельности на основе информационной и библиографической культуры с применением информационно-коммуникационных технологий и с учетом основных требований информационной безопасности
<b>Профессиональные компетенции</b>	
ПК(У)-1	способен обеспечивать технологичность изделий и процессов их изготовления; умением контролировать соблюдение технологической дисциплины при изготовлении изделий
ПК(У)-2	способен разрабатывать технологическую и производственную документацию с использованием современных инструментальных средств
ПК(У)-3	способен обеспечивать техническое оснащение рабочих мест с размещением технологического оборудования; умением осваивать вводимое оборудование
ПК(У)-4	способен участвовать в работах по доводке и освоению технологических процессов в ходе подготовки производства новой продукции, проверять качество монтажа и наладки при испытаниях и сдаче в эксплуатацию новых образцов изделий, узлов и деталей выпускаемой продукции
ПК(У)-5	умеет проверять техническое состояние и остаточный ресурс технологического оборудования, организовывать профилактический осмотр и текущий ремонт оборудования
ПК(У)-6	умеет проводить мероприятия по профилактике производственного травматизма и профессиональных заболеваний, контролировать соблюдение экологической безопасности проводимых работ
ПК(У)-7	умеет выбирать основные и вспомогательные материалы и способы реализации основных технологических процессов и применять прогрессивные методы эксплуатации технологического оборудования при изготовлении изделий машиностроения
ПК(У)-8	умеет применять методы стандартных испытаний по определению физико-механических свойств и технологических показателей используемых материалов и готовых изделий

ПК(У)-9	способен к метрологическому обеспечению технологических процессов, к использованию типовых методов контроля качества выпускаемой продукции
ПК(У)-16	способен к систематическому изучению научно-технической информации, отечественного и зарубежного опыта по соответствующему профилю подготовки
ПК(У)-17	умеет обеспечивать моделирование технических объектов и технологических процессов с использованием стандартных пакетов и средств автоматизированного проектирования, проводить эксперименты по заданным методикам с обработкой и анализом результатов
ПК(У)-18	способен принимать участие в работах по составлению научных отчетов по выполненному заданию и во внедрении результатов исследований и разработок в области машиностроения
ПК(У)-19	способен участвовать в работе над инновационными проектами, используя базовые методы исследовательской деятельности
<b>Профессиональные компетенции университета</b>	
ДПК(У)-1	Способен контролировать соответствие основных и свариваемых материалов, сварочного и вспомогательного оборудования, оснастки и инструмента, технологической документации, соблюдения технологической дисциплины и правильной эксплуатации технологического оборудования
ДПК(У)-2	Способен составлять планы размещения оборудования, технического оснащения и организации рабочих мест, производить расчет производственной мощности и загрузки оборудования
ДПК(У)-3	Способен изучать и анализировать причины возникновения брака и выпуска продукции низкого качества, участие в разработке мероприятий по их предупреждению и устранению

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

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

УТВЕРЖДАЮ:  
 Руководитель ООП  
 \_\_\_\_\_ 06.02.2021 Першина А.А.  
 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

### ЗАДАНИЕ

#### на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

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

Студенту:

Группа	ФИО
1В71	Иванову Александру Георгиевичу

Тема работы:

<b>Технология сборки и дуговой сварки труб из разнородных сталей</b>	
Утверждена приказом директора ИШНКБ	25.01.2021 №25-14/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:	03.06.2021
--	------------

#### ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p><b>Исходные данные к работе</b>  <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>Разработка технологии сборки и дуговой сварки труб из разнородных сталей          Тип производства – единичный</p>
<p><b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b>  <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>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Обзор литературы</li> <li>2. Описание объекта исследования</li> <li>3. Разработка технологии изготовления конструкции             <ol style="list-style-type: none"> <li>3.1. Выбор способа сварки</li> <li>3.2. Выбор сварочных материалов</li> <li>3.3. Форма подготовки свариваемых кромок</li> <li>3.4. Расчет параметров режима сварки</li> <li>3.5. Расчетная оценка ожидаемого химического состава металла шва</li> <li>3.6. Подогрев и термообработка после сварки</li> <li>3.7. Расчет расхода сварочных материалов</li> <li>3.8. Технология сборки и сварки конструкции</li> <li>3.9. Выбор оборудования для сварки</li> </ol> </li> </ol>

	3.10. Деформации и напряжения при сварке 3.11. Дефекты сварки и методы их контроля 3.12. Комплект технологической документации
<b>Перечень графического материала</b> <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	Конструктивные элементы кромок стыка труб Сборка конструкции Конструктивные элементы сварного шва Схема выполнения сварного шва
<b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b> <i>(с указанием разделов)</i>	
<b>Раздел</b>	<b>Консультант</b>
1-3 пп.	Киселёв А.С., к.т.н., доцент ОЭИ ИШНКБ
4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Маланина В.А., к.э.н., доцент ОСИ ШБИП
5. Социальная ответственность	Авдеева И.И., старший преподаватель ООД ШБИП
Комплект технологических документов	Першина А.А., к.т.н., доцент ОЭИ ИШНКБ
<b>Названия разделов, которые должны быть написаны на иностранном языке:</b>	
Введение	
Заключение	

<b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b>	05.02.2021
---	------------

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭИ	Киселёв А.С.	к.т.н., доцент		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1В71	Иванов Александр Георгиевич		

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

Студенту:

Группа	ФИО
1В71	Иванов Александр Георгиевич

Школа	ИШНКБ	Отделение школы (НОЦ)	ОЭИ
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	15.03.01 Машиностроение

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

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	Оклад руководителя- 64000 руб. Оклад инженера – 38700 руб.
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	Премиальный коэффициент и надбавки 30%; Дополнительной заработной платы 12%; Накладные расходы 16%; Районный коэффициент 30%.
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	Коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды 30,2 %.

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

1. <i>Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ</i>	Анализ конкурентных технических решений.
2. <i>Определение возможных альтернатив проведения научных исследований</i>	Определение целей и ожиданий, требований проекта. Определение заинтересованных сторон и их ожиданий.
3. <i>Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок</i>	Планирование работ; Разработка графика Ганта; Формирование бюджета затрат на научное исследование.
4. <i>Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности</i>	Определение эффективности исследования

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

1. Оценка конкурентоспособности технических решений
2. Матрица SWOT
3. Альтернативы проведения НИ
4. График проведения и бюджет НИ
5. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИ

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

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН	Маланина В.А.	к.э.н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1В71	Иванов Александр Георгиевич		

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
1В71	Иванов Александр Георгиевич

Школа	ИШНКБ	Отделение (НОЦ)	ОЭИ
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	15.03.01 Машиностроение

Тема ВКР:

Технология сборки и дуговой сварки труб из разнородных сталей	
<b>Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:</b>	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Объектом исследования является технология сборки и дуговой сварки труб из разнородных сталей, применяющаяся при строительстве и ремонте трубопроводов. Рабочее место располагается в отапливаемом помещении с настенной вытяжкой и смешанным освещением площадью 3000 м <sup>2</sup> . Помещение оборудовано краном мостового типа, сварочным оборудованием, оборудованием для резки и обработки заготовок. На рабочем месте имеются дополнительные источники освещения и местная островная вытяжка. Технологический процесс включает в себя следующие виды работ: работу со сварочным оборудованием, абразивным инструментом, а также работу с грузоподъемным оборудованием.
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
<b>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>– специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства;</li> <li>– организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.</li> </ul>	ГОСТ 12.0.003-2015 ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация; ГОСТ 12.1.003-2014 ССБТ. Шум. Общие технические требования безопасности; ГОСТ 12.1.012-2004 ССБТ. Вибрационная безопасность. Общие требования; ГОСТ 12.1.004-91 ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования; ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны; СанПиН 1.2.3685-21 Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания. ГОСТ 12.3.003-86 ССБТ. Работы электросварочные. Требования безопасности.
<b>2. Производственная безопасность:</b> <p>2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов</p> <p>2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия</p>	Выявить вредные факторы в производственном цехе: отклонение показателей микроклимата, превышение уровня шума и вибрации, недостаточная освещённость рабочей зоны, загазованность и запыленность воздуха рабочей зоны. Рассмотреть: <ul style="list-style-type: none"> <li>– требования к технике безопасности при работе со сварочным оборудованием;</li> <li>– влияние психофизиологических факторов: монотонность труда, физические и эмоциональные</li> </ul>

	<p>перегрузки, вредные вещества, выделяющиеся в процессе сварки;</p> <p>– предлагаемые средства защиты для работы в производственном цехе: коллективная защита (вытяжные шкафы, вентиляция); индивидуальные средства защиты (специальная одежда и обувь, защитные маски и очки, огнеупорные защитные перчатки сварщика (краги), респираторы).</p> <p>Выявить опасные факторы, относящиеся к оборудованию:</p> <p>– ожоги роговицы глаз;</p> <p>– опасность отравления продуктами горения, выделяющимися в процессе сварки;</p> <p>– опасность поражения электрическим током;</p> <p>– движущиеся машины и механизмы, подвижные части производственного оборудования;</p> <p>– термическая опасность;</p> <p>– механические травмы.</p> <p>Предлагаемые средства защиты: специальная одежда и обувь, защитные маски и очки, огнеупорные защитные перчатки сварщика (краги), респираторы.</p>
<b>3. Экологическая безопасность:</b>	<p>Рассмотреть необходимость применения санитарно-защитной зоны вследствие следующих видов загрязнений:</p> <p>– загрязнение атмосферы: выброс газа, задымление;</p> <p>– загрязнение гидросферы: разлив смазывающе-охлаждающих жидкостей, масел;</p> <p>– загрязнение литосферы: металлическая стружка и пыль, окалины, шлак, утилизация микросхем.</p>
<b>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</b>	<p>Определить перечень наиболее возможных ЧС: пожар, взрыв, химическое отравление воздуха рабочей среды вредными газами, разрушение зданий в результате разрядов атмосферного электричества, урагана.</p> <p>Наиболее актуальная ЧС – возникновение пожара.</p> <p>Рассмотреть профилактические мероприятия, требования к безопасности и меры по ликвидации ее последствий:</p> <p>– использование огнетушителя, песка, асбестового одеяла, пожарного крана и пожарного щита;</p> <p>– обеспечение средствами индивидуальной защиты;</p> <p>– организационная эвакуация работников.</p>

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	01.03.2021
--	------------

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Авдеева Ирина Ивановна	-		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1В71	Иванов Александр Георгиевич		



Школа **Инженерная школа неразрушающего контроля и безопасности**  
 Направление подготовки **15.03.01 Машиностроение**  
 Уровень образования **бакалавриат**  
 Отделение **электронной инженерии**  
 Период выполнения **(осенний / весенний семестр 2020 /2021 учебного года)**

Форма представления работы:

Бакалаврская работа

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

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

Срок сдачи студентом выполненной работы: 03.06.2021

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
17.02.2021	1. Обзор литературы	10
28.02.2021	2. Описание объекта исследования	10
15.03.2021	3. Разработка технологии изготовления конструкции 3.1. Выбор способа сварки 3.2. Выбор сварочных материалов	10
30.03.2021	3.3. Форма подготовки свариваемых кромок 3.4. Расчет параметров режима сварки	10
05.04.2021	3.5. Подогрев и термообработка после сварки 3.6. Расчет расхода сварочных материалов	10
20.04.2021	3.7. Технология сборки и сварки конструкции 3.8. Выбор оборудования для сварки	10
05.05.2021	3.9. Деформации и напряжения при сварке	10
15.05.2021	3.10. Дефекты сварки и методы их контроля	10
25.05.2021	4. Комплект технологической документации	10
01.06.2021	5. Заключение	10

Составил руководитель ВКР:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭИ	Киселёв А.С.	к.т.н., доцент		

**СОГЛАСОВАНО:**

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
15.03.01 Машиностроение. Оборудование и технология сварочного производства	Першина А.А.	к.т.н., доцент		

## Реферат

Выпускная квалификационная работа 120 листов, 5 рисунков, 25 таблиц, 52 источника, 2 приложения.

Ключевые слова: сварка разнородных сталей, ручная дуговая сварка, теплоустойчивая сталь, параметры режима ручной дуговой сварки плавящимся электродом.

Актуальность работы заключается в создании конструкции из разнородных сталей, части которой должны без разрушений работать в условиях, отличающихся температурой, различными механическими воздействиями (знакопеременная нагрузка, износ и т. п.), агрессивностью среды, для нефтяной и теплоэнергетической промышленности.

Объектом исследования является технология сборки и ручной дуговой сварки труб диаметром 530 мм с толщиной стенки 12 мм из сталей ВСтЗсп и 15Х1М1Ф.

Цели и задачи исследования (работы) заключаются в разработке технологии сборки и дуговой сварки труб из разнородных сталей путем расчета необходимых параметров, подбором необходимых материалов и оборудования и составления комплекта технологической документации на изготовление конструкции.

Работа представлена введением, пятью разделами и заключением, приведен список использованных источников и приложение.

В 1 разделе «Обзор литературы» представлена информация о понятии разнородных сталей.

Во 2 разделе «Описание объекта исследования» описывается исследуемая конструкция, свойства и состав металла, из которого она состоит.

В 3 разделе «Разработка технологии изготовления конструкции» приведены: подробное описание процесса сборки и сварки конструкции, расчет параметров режима сварки, подбор сварочных материалов и оборудования. Даны рекомендации по подготовке конструкции к использованию.

В 4 и 5 разделах «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» и «Социальная ответственность» описаны позиции разрабатываемой технологии с экономической стороны и меры безопасности при производстве данной технологии.

В заключении изложены итоги выполненной работы, описаны этапы разработки технологии.

## Определения, сокращения и нормативные ссылки

В настоящей работе применены следующие термины с соответствующими определениями.

РДС – ручная дуговая сварка плавящимся электродом. Вид сварки.

Околошовная зона – зона основного металла, подвергшаяся нагреву от электрической дуги.

Сварочная ванна – полость, образованная расплавленным металлом от действия электрической дуги.

Корневой слой шва – первый слой сварного шва.

Прихватка – прихваточный сварной шов, служащий для предварительного соединения элементов конструкции.

В данной работе использованы ссылки на следующие стандарты:

1. РД 153-34.1-003-01. Сварка, термообработка и контроль трубных систем котлов и трубопроводов при монтаже и ремонте энергетического оборудования (РТМ-1с).

2. ГОСТ 16037-80. Соединения сварные стальных трубопроводов. Основные типы, конструктивные элементы и размеры.

3. ГОСТ 9467-75. Электроды покрытые металлические для ручной дуговой сварки конструкционных и теплоустойчивых сталей. Типы.

4. ГОСТ 5264-80. Ручная дуговая сварка. Соединения сварные. Основные типы, конструктивные элементы и размеры.

5. ГОСТ 380-2005. Сталь углеродистая обыкновенного качества. Марки.

6. ГОСТ 535-2005. Прокат сортовой и фасонный из стали углеродистой обыкновенного качества. Общие технические условия.

7. ГОСТ 20072-74. Сталь теплоустойчивая. Технические условия.

8. СТО 00220368-011-2007. Сварка разнородных соединений сосудов, аппаратов и трубопроводов из углеродистых, низколегированных, теплоустойчивых, высоколегированных сталей и сплавов на железоникелевой и никелевой основах.

9. РД 25.160.00-КТН-011-10. Сварка при строительстве и ремонте магистральных нефтепроводов.

10. РД 25.160.10-КТН-016-15. Магистральный трубопроводный транспорт нефти и нефтепродуктов. Неразрушающий контроль сварных соединений при строительстве и ремонте магистральных трубопроводов.

11. СТО 9701105632-003-2021. Инструкция по визуальному и измерительному контролю.

12. ГОСТ Р 55724-2013. Контроль неразрушающий. Соединения сварные. Методы ультразвуковые.

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

14. ГОСТ 12.3.003-86. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Работы электросварочные. Требования безопасности.

15. ГОСТ 12.0.003-2015. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.

16. ГОСТ 12.1.005-88. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей среды.

17. ГОСТ 12.4.254-2013. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Средства индивидуальной защиты глаз и лица при сварке и аналогичных процессах.

18. ГОСТ 12.1.019-2017. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.

19. ГОСТ 12.2.003-91. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Оборудование производственное. Общие требования безопасности.

20. ГОСТ 12.4.125-83. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Средства коллективной защиты работающих от воздействия механических факторов. Классификация.

21. ГОСТ 12.1.029. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Средства и методы защиты от шума. Классификация.

22. ГОСТ 33393-2015. Здания и сооружения. Методы измерения коэффициента пульсации освещенности.

23. ГОСТ Р 55102-2012. Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Руководство по безопасному сбору, хранению, транспортированию и разборке отработавшего электротехнического и электронного оборудования, за исключением ртутьсодержащих устройств и приборов.

24. ГОСТ Р 52105-2003. Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Классификация и методы переработки ртутьсодержащих отходов. Основные положения.

25. ГОСТ Р 55090-2012. Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Рекомендации по утилизации отходов бумаги.

26. СанПиН 2.2.4.548-96. Физические факторы производственной среды. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.

27. СН 2.2.4/2.1.8.562-96. Физические факторы производственной среды. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки.

28. СНиП 23-05-95. Естественное и искусственное освещение.

29. НПБ 104-03. Проектирование систем оповещения людей о пожаре в зданиях и сооружениях.

30. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности.

31. СП 12.13130.2009. Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности.

В настоящей работе использованы следующие сокращения:

- $I_{св}$  – величина силы сварочного тока (А);
- $U_d$  – величина напряжения дуги (В);
- $d_э$  – диаметр электрода (мм);
- $V_{св}$  – скорость сварки (м/ч);
- $H$  – глубина проплавления (мм);
- $e$  – ширина сварного шва (мм);
- $g$  – выпуклость сварного шва (мм).

## Оглавление

Реферат .....	10
Определения, сокращения и нормативные ссылки .....	12
Введение.....	18
1 Обзор литературы .....	20
1.1 История развития дуговой сварки .....	20
1.2 Понятие разнородных сталей.....	21
2 Описание объекта исследования .....	24
2.1 Основной материал конструкции.....	24
2.2 Свариваемость основного материала конструкции.....	26
3 Разработка технологии изготовления конструкции .....	28
3.1 Выбор способа сварки .....	28
3.2 Выбор сварочных материалов .....	31
3.3 Форма подготовки свариваемых кромок.....	33
3.4 Расчёт необходимых параметров режима сварки.....	34
3.4.1 Выбор диаметра электрода .....	34
3.4.2 Определение сварочного тока .....	35
3.4.3 Определение напряжения дуги.....	36
3.4.4 Определение числа проходов .....	37
3.4.5 Определение скорости сварки .....	39
3.4.6 Определение погонной энергии при сварке.....	40
3.4.7 Определение глубины проплавления.....	41
3.5 Расчётная оценка ожидаемого химического состава металла шва .....	42
3.6 Подогрев и термообработка после сварки.....	45
3.7 Расчет расхода сварочных материалов .....	45
3.8 Технология сборки и сварки конструкции .....	46
3.8.1 Подготовка сварочных материалов.....	46
3.8.2 Подготовка свариваемых кромок .....	47
3.8.3 Сборка деталей перед сваркой.....	47
3.8.4 Сварка элементов соединения .....	49

3.8.5 Отделочные операции.....	52
3.9 Выбор оборудования для сварки .....	53
3.10 Деформации и напряжения при сварке.....	54
3.11 Дефекты сварки и методы их контроля .....	57
3.12 Вывод по разделу .....	58
4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	60
4.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения .....	60
4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования .....	60
4.1.2 Анализ конкурентных технических решений.....	61
4.1.3 SWOT – анализ.....	62
4.2 Планирование научно-исследовательских работ .....	63
4.2.1 Структура работ в рамках научного исследования.....	63
4.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ.....	64
4.2.3 Разработка графика проведения научного исследования.....	65
4.3 Бюджет научно-технического исследования (НТИ) .....	69
4.3.1 Расчет материальных затрат НТИ .....	69
4.3.2 Расчет затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ .....	70
4.3.3 Расчет амортизационных отчислений .....	71
4.3.4 Основная и дополнительная заработная плата исполнителей темы ....	72
4.3.5 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления).....	74
4.3.6 Накладные расходы .....	75
4.3.7 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта .	75
4.4 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.....	76
4.5 Вывод по разделу .....	79
5 Социальная ответственность.....	81
5.1 Введение.....	81
5.2 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности .....	81
5.2.1 Правовые нормы трудового законодательства .....	81



5.2.2 Эргономические требования к правильному расположению и компоновке рабочей зоны .....	82
5.3 Производственная безопасность .....	85
5.3.1 Отклонение показателей микроклимата.....	86
5.3.2 Превышение уровня шума и вибрации.....	87
5.3.3 Недостаточная освещенность рабочей зоны.....	88
5.3.4 Загазованность и запыленность воздуха рабочей среды .....	89
5.3.5 Опасность поражения УФ излучением.....	90
5.3.6 Опасность поражения электрическим током .....	91
5.3.7 Движущиеся машины и механизмы, подвижные части производственного оборудования.....	93
5.3.8 Термическая опасность .....	94
5.4 Экологическая безопасность.....	95
5.5 Безопасность в чрезвычайных ситуациях .....	96
5.5.1 Анализ возможных ЧС, которые могут возникнуть при проведении электросварочных работ на производстве.....	97
5.5.2 Наиболее вероятная ЧС, которая может возникнуть при разработке и изготовлении объекта исследования.....	97
5.6 Вывод по разделу .....	100
Заключение .....	101
Список использованных источников .....	103
Приложение А .....	108
Приложение Б.....	119

## **Введение**

Сваркой принято называть один из наиболее традиционных способов соединения деталей и узлов.

В современном мире невозможно найти строительную промышленность, где бы не применялась пайка, сварка или огневая резка металлов. Повседневное использование сварки, например в строительной промышленности, объясняется её техническими параметрами. Она позволяет экономить металл, время и стоимость сварных изделий, а в некоторых случаях уменьшить трудоемкость выполняемых работ. Применение различных сварочных технологий можно наблюдать при изготовлении, монтаже и сборе железобетонных конструкций и сооружений. Сварочный процесс требует определенных профессиональных навыков, обширных знаний и является своего рода искусством, которое требует многолетнего опыта в освоении.

На сегодняшний день разработано и создано весомое количество сварочного оборудования и сварочных материалов. Изучены и осуществлены новые прогрессивные процессы сварки, имеющие высокую степень механизации и автоматизации. Освоена методика сварки многих различных металлов и сплавов. В связи с этим обширно развивается теория сварочных процессов.

Сварку разнородных сталей нередко можно встретить во многих отраслях промышленности, когда необходимо создать соединение из сталей, которые различаются по назначению и свойствам. Например, произвести конструкцию, состоящую из элемента высоколегированной стали, работающего в агрессивных эксплуатационных условиях, и элемента низколегированной стали, на который эксплуатационная нагрузка приходится в значительно меньшей степени.

Объектом исследования является технология сборки и дуговой сварки покрытыми электродами труб диаметром 530 мм с толщиной стенки 12 мм из сталей ВСтЗсп и 15Х1М1Ф.

Целями данной работы являются:

1. Рассмотреть основной металл. Показать химический состав, механические свойства стали. Определить свариваемость металла.
2. Описать способ сварки. Показать сущность, области применения, достоинства и недостатки способа.
3. Выбрать и подобрать с обоснованием необходимые сварочные материалы.
4. Для данной толщины основного металла и способа сварки определить тип соединения согласно соответствующих стандартов.
5. Рассчитать необходимые параметры режима сварки каждого прохода (корень шва, заполнение, облицовка).
6. Произвести расчётную оценку ожидаемого химического состава и механических свойств металла шва.
7. Выбрать и назначить с обоснованием требуемое сварочное оборудование.
8. Произвести анализ действия сварочных напряжений в сварном шве. Предложить меры по снижению и устранению деформаций в сварном соединении.
9. Рассмотреть вопросы техники безопасности при выполнении сварочных работ.
10. Произвести анализ полученных результатов.

Для достижения поставленных целей необходимо решить следующие задачи:

- обосновать предлагаемый способ сварки металлоконструкции;
- провести необходимые расчеты параметров режима сварки;
- выбрать и обосновать сварочное оборудование;
- разработать технологию сборки и сварки конструкции.

## **1 Обзор литературы**

### **1.1 История развития дуговой сварки**

Сварка металлов впервые была изучена и освоена в России и является одним из выдающихся русских изобретений. Русский академик Василий Владимирович Петров в 1802 году заметил, что между концами двух стержней из угля или металла возникает ярко горящая дуга при пропускании через эти стержни электрического тока, которая имеет высокую температуру. Изучив и описав это явление, академик отметил возможность применения тепла этой дуги для расплавления металлов и в последствии положил начало основам дуговой сварки металлов [1].

В то время результаты опытов русского академика Петрова в России не применялись, а за границей были неизвестны вовсе. И только через 80 лет после открытия Петрова русские инженеры Николай Гаврилович Славянов и Николай Николаевич Бенардос нашли применение разработки на практике, создав различные способы сварки металлов «дугой Петрова» в промышленности [1].

В 1882 году способ дуговой сварки угольным электродом был изобретен Н.Н. Бенардосом. Через некоторое время он создал способ сварки, в процессе которого дуга горела между двумя или несколькими электродами, а также изобрел сварку в среде защитного газа, точечную контактную сварку с использованием клещей, спроектировал конструкции сварочных автоматов. В области оборудования и процессов сварочного производства в России и за рубежом Н.Н. Бенардосом запатентовано большое количество изобретений [1].

Создателем наиболее известного и распространенного на сегодняшний день метода дуговой сварки плавящимся электродом является Николай Гаврилович Славянов, который разработал его в 1888 году [1].

Н.Г. Славянов описал данный метод сварки в своих книгах и статьях, запатентовал его в разных странах мира, а также широко применял его на практике. Славянов имел коллектив обученных рабочих-сварщиков, совместно с ними он исправлял литейные браки и ремонтировал детали и агрегаты паровых

машин, а также различное промышленное оборудование. Н.Г. Славянов являлся первым, кто изобрел сварочный генератор и авторегулятор длины электрической дуги. Также он является создателем флюсов, которые служат для повышения качества наплавленного металла. Созданные способы сварки русскими инженерами Н.Н. Бенардосом и Н.Г. Славяновым являются основой современных методов электросварки металлов [1].

## **1.2 Понятие разнородных сталей**

Разнородными считаются стали, которые различны по химическому составу, структурному классу, степени легирования, типу, подверженности сваривания между собой, а также степени теплопроводности [2].

Разнородные стали имеют отличия в атомно-кристаллическом строении, то есть имеют гранецентрированную (ГЦК), объёмно-центрированную (ОЦК) кубическую решетку или относятся к разным структурным классам (аустенитным, перлитным, ферритным, мартенситным), а также стали, имеющие однотипную кубическую решетку, но принадлежащие к разным группам по степени и типу легирования (низколегированные, легированные, высоколегированные) [3].

По содержанию количества углерода в составе стали их делят на:

- низкоуглеродистые стали (содержание углерода менее 0,25%);
- среднеуглеродистые стали (содержание углерода находится в пределах от 0,25 до 0,46%);
- высокоуглеродистые стали (содержание углерода находится в пределах от 0,46 до 0,75%).

По содержанию в стали легирующих элементов они подразделяются на:

- низколегированные стали (суммарное содержание легирующих элементов в составе стали не превышает 5%);
- среднелегированные стали (суммарное содержание легирующих элементов в составе стали не превышает 10%).

- высоколегированные стали (суммарное содержание легирующих элементов в составе стали превышает 10%).

В зависимости от содержания в химическом составе стали вредных примесей (серы и фосфора) выделяют:

- красноломкие стали (при повышении содержания серы увеличивается степень красноломкости);
- хладноломкие стали (при повышении содержания фосфора увеличивается степень хладноломкости).

Стали, в которых методом раскисления удалены вредные примеси (серы и фосфора) или введены химические элементы, нейтрализующие их влияние на свойства стали, называются тепло- и хладостойкие стали [3].

В таблице 1 приведены различные структурные классы и типы сталей, из которых изготавливают сварные конструкции [3].

Таблица 1 – Классификация сталей, применяемых в сварных соединениях из разнородных сталей [3]

Класс сталей и сварочных материалов	Характеристика сталей	Марки сталей (примеры)
Перлитные и бейнитные	Углеродистые	Ст3, 20
	Низколегированные	09Г2С, 10ХСНД, 20ХГСА
	Легированные среднеуглеродистые	30ХГСА, 40Х, 40ХН2МА, 38ХВ
	Теплоустойчивые (Cr-Mo и Cr-Mo-V)	12МХ, 12Х1МФ, 20Х1М1Ф169
	Хладостойкие (Fe-Ni)	0Н3, 0Н6, 0Н9
Мартенситные, ферритные, ферритно-мартенситные, аустенитно-мартенситные, ферритно-аустенитные	12 %-ные хромистые, жаростойкие	08Х13, 12Х13
	Высокохромистые, жаростойкие	08Х17Т, 15Х25Т, 20Х17Н2
	12 %-ные хромистые, жаропрочные	15Х11МФ, 15Х12ВНМФ
	Хромоникелевые коррозионностойкие	12Х21Н5Т

Продолжение таблицы 1

Аустенитные стали и сплавы на никелевой основе	Коррозионностойкие аустенитные	12X18H10T, 10X17H13M3T
	Аустенитные жаропрочные	X15H35BT, 20X25H20C2
	Аустенитные коррозионностойкие и криогенные	X18H20, X13АП9, 06X23H28M3Д3T
	Жаропрочные никелевые сплавы	XH70BMTЮФ, XH56BMTЮ

Изготовленные из разнородных сталей конструкции называются комбинированными. Они используются, когда отдельные части конструкции должны без разрушений работать в условиях, отличающихся температурой, различными механическими воздействиями (знакопеременная нагрузка, износ и т. п.).

## **2 Описание объекта исследования**

Объектом исследования является технология сборки и дуговой сварки покрытыми электродами труб диаметром 530 мм с толщиной стенки 12 мм из сталей ВСтЗсп и 15Х1М1Ф.

Потенциальными потребителями данной технологии могут являться компании и корпорации, занимающиеся транспортировкой, переработкой нефти и нефтепродуктов, а также транспортировкой газа, возможно применение данной технологии в теплоэнергетической промышленности.

Конструкция представляет собой участок трубопровода, состоящая из труб, соединенных встык при помощи сварки, и служит для транспортировки технологических жидкостей и газов.

Разрабатываемая технология сборки и дуговой сварки позволит получать качественные соединения труб из разнородных сталей. При этом будет определена взаимосвязь свойств соединения с составом металла шва и его свойствами в области границ сплавления.

### **2.1 Основной материал конструкции**

Для изготовления данной конструкции из труб используется углеродистая сталь обыкновенного качества ВСтЗсп и жаропрочная низколегированная сталь 15Х1М1Ф.

Сталь ВСтЗсп применяется при изготовлении несущих сварных конструкций, работающих в диапазоне рабочих температур от -40 до +425°С. Приставка «В» в названии означает группу поставки данной стали с гарантированным химическим составом и механическими свойствами. Буквосочетание «сп» означает степень раскисления – спокойная.

В таблице 2 приведен химический состав стали ВСтЗсп согласно ГОСТ 380-2005 [4].



Таблица 2 – Химический состав стали ВСтЗсп по ГОСТ 380-2005 [4]

C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Cu
0,14-0,22	0,12-0,3	0,4-0,65	до 0,3	до 0,05	до 0,04	до 0,3	до 0,3

В таблице 3 приведены механические свойства стали ВСтЗсп согласно ГОСТ 535-2005 [5].

Таблица 3 – Механические свойства стали ВСтЗсп по ГОСТ 535-2005 [5]

Временное сопротивление разрыву, МПа	Предел текучести, МПа	Относительное удлинение, %	Ударная вязкость КСУ, Дж/см <sup>2</sup>
370-480	245	26	78

Легированные стали – это стали, которые содержат специально введённые элементы, придающие стали специальные свойства. Хром, молибден и ванадий, которые служат легирующими элементами стали 15Х1М1Ф, являются тугоплавкими металлами. Они добавляются в сталь для придания ей способности работать под напряжением в условиях повышенных температур без заметных остаточных деформаций и разрушений. Степень легирования стали зависит от количества содержания в ней легирующих элементов и делятся они на низколегированные, среднелегированные и высоколегированные. К низколегированным сталям относят стали, в которых содержание каждого легирующего элемента не превышает 2%, а суммарное их содержание не превышает 5%. Поэтому сталь 15Х1М1Ф является жаропрочной низколегированной. Из этой стали изготавливают трубы пароперегревателей, паропроводов и коллекторов установок высокого давления, длительно работающих при температурах до 585 °С.

В таблице 4 приведен химический состав стали 15Х1М1Ф согласно ГОСТ 20072-74 [6].

Таблица 4 – Химический состав стали 15Х1М1Ф по ГОСТ 20072-74 [6]

C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Cu	Mo	V
0,1-0,16	0,17-0,37	0,4-0,7	до 0,25	до 0,025	до 0,025	1,1-1,4	до 0,25	0,9-1,1	0,2-0,25

В таблице 5 приведены механические свойства стали 15Х1М1Ф согласно ГОСТ 20072-74.

Таблица 5 – Механические свойства стали 15Х1М1Ф по ГОСТ 20072-74 [6]

Временное сопротивление разрыву, МПа	Предел текучести, МПа	Относительное удлинение, %	Относительное сужение, %	Ударная вязкость КСU, Дж/см <sup>2</sup>
500	320	18	50	50

Прочность низколегированных сталей можно повысить путем легирования их элементами, растворяющимися в феррите, которые измельчают перлитную составляющую стали. Из-за наличия этих элементов при охлаждении происходит торможение процесса распада аустенита, что равносильно увеличению скорости охлаждения, поэтому при охлаждении сварных швов могут образоваться закалочные структуры в зоне термического влияния.

## 2.2 Свариваемость основного материала конструкции

Причиной образования холодных трещин является закаливаемость стали при быстром охлаждении, а также насыщение водородом металла шва и зоны термического влияния. Эти трещины появляются, в основном, на протяжении некоторого времени после сварки и наплавки и растут в течение нескольких часов и порой даже суток. Для определения склонности металла к холодным трещинам используется углеродный эквивалент, который можно применять как показатель, при предварительной оценке, характеризующий свариваемость основного металла [7].

Эквивалентное содержание углерода находится по формуле [7]:

$$C_{\text{экв}} = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr + Mo + V}{5} + \frac{Ni + Cu}{15}, \quad (1)$$

где  $C, Mn, Cr, V, Mo, Cu, Ni$  – содержание основных легирующих элементов в основном металле в процентах.

Сталь ВСтЗсп в соответствии с классификацией сталей по свариваемости обладает хорошей свариваемостью, так как эквивалентное содержание углерода в ней менее 0,25% и не требует дополнительной термической обработки до, после и во время сварки (предварительный, сопутствующий подогрев и отпуск).

Сталь 15Х1М1Ф в соответствии с классификацией сталей по свариваемости обладает ограниченную свариваемостью, так как эквивалентное содержание углерода в ней находится в пределах 0,36 – 0,45% и требует подогрев до температуры 250 ... 400°С и отпуск после сварки. Она склонна к образованию трещин при сварке без подогрева.

### **3 Разработка технологии изготовления конструкции**

#### **3.1 Выбор способа сварки**

Согласно руководящему документу [8], для сварки трубопровода используют следующие виды сварки:

- автоматическая сварка под слоем флюса;
- механизированная сварка в среде углекислого газа;
- механизированная сварка самозащитной проволокой;
- ручная дуговая сварка плавящимися покрытыми электродами;
- газовая ацетиленокислородная сварка;
- аргонодуговая сварка неплавящимся электродом;
- контактная стыковая сварка оплавлением;
- комбинированные технологии (корень шва проваривают РДС

покрытыми электродами с основным типом покрытия или механизированной сваркой в защитных газах проволокой сплошного сечения, а заполняющий и облицовочные швы проваривают механизированной сваркой с использованием самозащитной проволоки).

Ручная дуговая сварка плавящимися покрытыми электродами является предпочтительнее, так как она отличается простотой применяемого оборудования и универсальностью.

При данном виде сварки образуется шлаковая защита расплавленного металла, которая практически исключает взаимодействие металла шва с окружающим воздухом. Для обеспечения защиты расплавленного металла электродное покрытие, которое при сгорании создает шлаки и газы, должно иметь определенные физико-химическими свойствами. Вследствие этого при выполнении сварных соединений из разных металлов для получения заданного состава и свойств металла шва используют электроды с надлежащим типом покрытия, которые должны соответствовать специальным требованиям [7].

При использовании ручной дуговой сварки перемещение электрода и подача в сварочную ванну по мере его плавления производится вручную.

Напряжение дуги и сила сварочного тока в данном случае напрямую зависят от длины дуги. Источники питания необходимо использовать с крутопадающими вольтамперными характеристиками для обеспечения стабильного теплового режима в сварочной ванне.

Достоинства РДС:

- создание сварного соединения в труднодоступных местах и во всех пространственных положениях;
- большое количество свариваемых материалов;
- относительная простота оборудования.

Недостатки РДС:

- низкая производительность труда;
- трудоёмкий процесс;
- качество сварного шва напрямую зависит от квалификации сварщика.

С целью увеличения производительности возможно использование погруженной дуги, пучка электродов или гребенки. Малое значение сварочного тока обуславливает низкую производительность этого вида сварки.

Широкое применение ручная дуговая сварка имеет при изготовлении сварных конструкций из различных металлов и сплавов, при этом толщина заготовок варьируется от 2 до 30 мм. ГОСТ 5264-80 [9] указывает на возможность ручной дуговой сварки заготовок, имеющих толщину от 1 до 120 мм. Данный вид сварки часто используется при производстве ремонтных, восстановительных и монтажных работ. Применяют в основном для получения коротких швов, а также криволинейных [7].

Сущностью ручной дуговой сварки является ручная подача электрода в зону сварки и управление дугой вдоль свариваемых кромок.

На рисунке 1 изображен процесс ручной дуговой сварки плавящимся электродом.

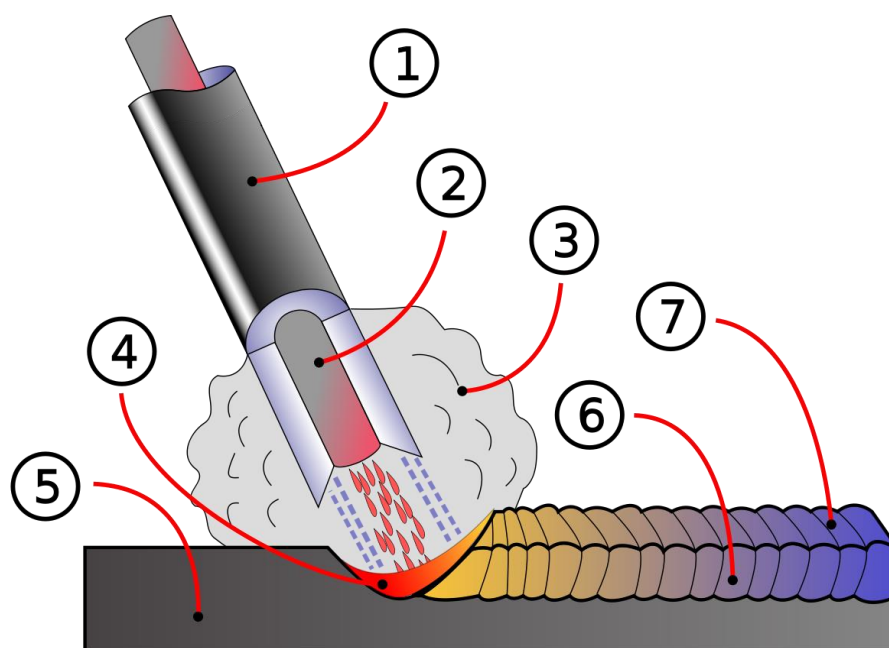


Рисунок 1 – Процесс ручной дуговой сварки плавящимся электродом

Электрическая дуга загорается между электродом (поз. 2) и свариваемым металлом (поз. 5). Электрическая дуга расплавляет электродный стержень, и свариваемый металл. В результате этого, в жидком состоянии формируется сварочная ванна (поз. 4). Поток расплавленного металла из плавящегося электрода перетекает в сварочную ванну посредством электрической дуги.

Под действием дуги, вместе с электродным стержнем происходит плавление покрытия электрода (поз. 1), в результате чего образуется газовая среда (поз. 3), защищающая зону сварки, и слой жидкого шлака, который обеспечивает защиту сварочной ванны.

По мере перемещения электрической дуги вдоль свариваемых кромок расплавленный металл в сварочной ванне остывает и кристаллизуется, формируя сварной шов (поз. 6). Расплавленный шлак совместно со сварным швом остывает и твердеет, оставаясь на поверхности шва в виде слоя (поз. 7), который необходимо удалить после полного остывания сварного шва.

### 3.2 Выбор сварочных материалов

Равнопрочность сварного соединения при сварке покрытыми электродами достигается правильным выбором сварочных материалов, к которым предъявляются определенные требования [7].

Тип электрода определяется значением прочности основного металла. Документом, регламентирующим типы электродов является ГОСТ 9467-75 [10], в котором сказано про типы электродов, предназначенных для сварки сталей, имеющих предел прочности до  $60 \text{ кг/мм}^2$ , и типы электродов, предназначенных для сварки сталей, имеющих повышенную прочность более  $60 \text{ кг/мм}^2$ . Условием выбора типа электрода является обеспечение требуемой прочности наплавленного металла, которая должна быть не менее прочности основного металла, иначе может вызваться быстрый выход из эксплуатации сварной конструкции с разрушением в области сваривания, особенно быстро это может произойти при воздействии знакопеременных нагрузок [7].

При сварке сталей одного структурного класса равной толщины, но разной степени легирования, выбор покрытых электродов для сварки разнородных сталей осуществляется для менее легированного материала. Но технология сварки (количество наплавленного металла за 1 проход, значение погонной энергии, предварительный подогрев и т. д.) должна быть разработана с учётом более легированной или более прочной стали. Если толщина менее прочной конструкционной стали повышена, то за счёт этого, возможно, обеспечивается равная несущая способность деталей разной степени легирования. В этом случае и выбор сварочных материалов и требования технологии сварки определяются более легированной сталью [7].

В нашем случае тип электродов для сварки необходимо подобрать по наименее легированной стали, то есть для стали ВСтЗсп. Согласно данным, изложенным в ГОСТ 9467-75, для сварки сталей ВСтЗсп и 15Х1М1Ф необходимо использовать электроды типа Э42А. Так как механические свойства

металла шва, полученного при использовании электродов типа Э42А, максимально близки к механическим свойствам стали ВСтЗсп.

К электродам типа Э42А относятся покрытые электроды УОНИ-13/45.

Электроды УОНИ-13/45 с покрытием основного типа предназначены для сварки особо ответственных конструкций из углеродистых и низколегированных сталей, когда к металлу шва предъявляются повышенные требования по пластичности и ударной вязкости. Сварка этими электродами может вестись во всех пространственных положениях. УОНИ-13/45 обеспечивают получение металла шва с высокой стойкостью к образованию кристаллизационных трещин и низким содержанием водорода. Сварку необходимо вести на дуге, длина которой составляет 2-4 мм, по зачищенным кромкам, для получения высококачественного сварного соединения.

Типичный химический состав наплавленного металла, полученный при использовании выбранных электродов, изготовленных по ГОСТ 9467-75 [10], показан в таблице 6.

Таблица 6 – Типичный химический состав наплавленного металла [10]

С	Mn	Si	S	P
0,09	0,57	0,25	0,014	0,017

В таблице 7 приведены типичные механические свойства наплавленного металла, полученного при использовании данных электродов, согласно ГОСТ 9467-75.

Таблица 7 – Типичные механические свойства наплавленного металла [10]

Временное сопротивление разрыву, МПа	Предел текучести, МПа	Относительное удлинение, %	Ударная вязкость, Дж/см <sup>2</sup>
460	350	30	210

Перед сваркой электроды необходимо прокалить при температуре 350 – 400°С в течение 1 часа.



### 3.3 Форма подготовки свариваемых кромок

Тип сварного соединения и порядковый номер сварного шва необходимо определить при помощи ГОСТ 16037-80 [11]. Если требуется обеспечить полное проплавление на всё сечение детали, то практически всегда требуется выполнить скос свариваемых кромок в зависимости от пространственного положения сварки – разделку. К параметрам разделки относят: зазор между свариваемыми деталями после прихватки, угол скоса и разделки кромок, значение притупления и т. д. На рисунке 2 представлены конструктивные элементы и размеры разделки кромок с условным обозначением С17 согласно ГОСТ 16037-80.

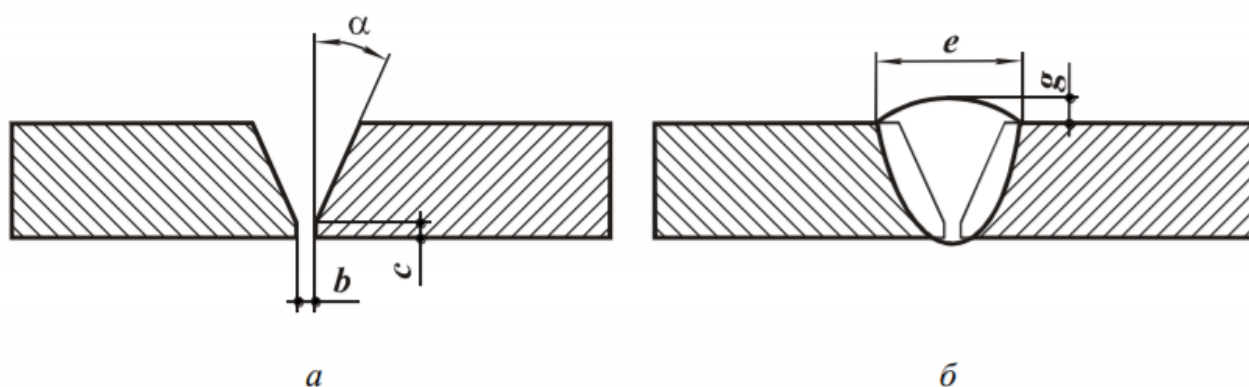


Рисунок 2 – Конструктивные элементы и размеры:

- a* – подготовленных кромок свариваемых деталей; *б* – сварного шва;  
*α* – угол скоса кромок; *b* – зазор между кромками свариваемых деталей после прихватки; *c* – притупление кромки; *e* – ширина сварного шва;  
*g* – выпуклость сварного шва

В таблице 8 приведены конструктивные элементы и размеры подготовленных кромок свариваемых деталей и сварного шва для типа соединения С17 по ГОСТ 16037-80 для толщины свариваемых деталей равной 12 мм.

Таблица 8 – Конструктивные элементы и размеры (мм) сварного соединения по ГОСТ 16037-80 [11]

Условное обозначение сварного соединения	Конструктивные элементы		$S = S_1$	$b$	$c$	$e$	$g$
	Подготовленных кромок свариваемых деталей	Сварного шва					
C17			12	$2^{+1}$	$1^{+0,5}_{-0,5}$	$18^{+4}$	$2^{+2}_{-1,5}$

### 3.4 Расчёт необходимых параметров режима сварки

Под режимом сварки понимают совокупность основных и дополнительных параметров сварочного процесса, посредством которых сварные швы получают требуемого качества, формы и размеров [7].

К основным параметрам режима ручной дуговой сварки покрытыми электродами относятся: сила сварочного тока, напряжение дуги, диаметр электрода, площадь поперечного сечения шва, выполненного за один проход, род тока, полярность тока, число проходов и др. [7].

Так как диаметр электрода в значительной мере определяет другие параметры, расчет параметров режима начинают с его выбора [7].

#### 3.4.1 Выбор диаметра электрода

В зависимости от толщины свариваемых деталей назначают диаметр электрода  $d_э$  [7].

При выполнении многослойного шва первый проход (корневой слой) производят электродами диаметром до 3,25 мм включительно, так как при

использовании электродов большего диаметра усложняется формирование и провар корня шва. При выполнении заполнения назначают практически максимальный сварочный ток для выбранного пространственного положения, чтобы обеспечить максимальную производительность сварочных работ [7].

Для сварки корня шва назначим  $d_3 = 3$  мм, а для сварки заполняющего и облицовочного слоев сварного шва назначим  $d_3 = 4$  мм.

### 3.4.2 Определение сварочного тока

Расчет величины силы сварочного тока при сварке покрытыми электродами выполняется по допускаемой плотности тока и диаметра используемого электрода [7]:

$$I_{св} = \frac{\pi \cdot d_3^2}{4} \cdot j, \quad (2)$$

где  $d_3$  – диаметр электродного стержня, мм;

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

На скорость плавления электрода и плотность тока из-за различной теплопроводности и характера прохождения металлургических процессов вид покрытия оказывает значительное влияние [7].

От вида покрытия и диаметра электрода зависит допустимая плотность тока. При увеличении диаметра электрода уменьшается допустимая плотность тока, потому что интенсивность охлаждения покрытия и электродного стержня снижается [7].

Не обеспечивается стабильного плавления основного и электродного металла при недостаточной величине сварочного тока, а также происходит неустойчивое горение дуги. При завышенном значении сварочного тока увеличиваются потери на угар и разбрызгивание, так как электрод плавится слишком интенсивно, помимо этого ухудшается качество формирования шва и устойчивость дуги. Также при большом значении силы тока получают высокие значения погонной энергии, что ведет к увеличению тепловложения, которое не

всегда желательно. В начале и в конце процесса скорость плавления электродного металла отличается более чем на 30% [7].

Допустимая плотность тока при сварке электродами с основным типом покрытия [7]:

- при  $d_э = 3$  мм:  $j = 13 \dots 18,5$  А/мм<sup>2</sup>;
- при  $d_э = 4$  мм:  $j = 10 \dots 14,5$  А/мм<sup>2</sup>.

Определим силу сварочного тока для заварки корневого слоя сварного шва электродами диаметром 3 мм:

$$I_{св} = \frac{3,14 \cdot 3^2}{4} \cdot (13 \dots 18,5) = 92 \dots 130 \text{ А},$$

так как самым ответственным местом, в многослойном шве, является первый проход (корневой шов), рекомендуется устанавливать небольшие значения сварочного тока, а именно  $I_{св} = 100$  А.

Также необходимо определить  $I_{св}$  для заварки заполняющего и облицовочного слоев сварного шва электродами диаметром 4 мм:

$$I_{св} = \frac{3,14 \cdot 4^2}{4} \cdot (10 \dots 14,5) = 126 \dots 182 \text{ А},$$

принимая  $I_{св} = 155$  А.

### 3.4.3 Определение напряжения дуги

На этапе проектирования технологических процессов сварки с учетом паспорта на данную марку электрода выбирают напряжение дуги. При сварке покрытыми электродами напряжение дуги варьируется в диапазоне от 20 до 34 В [7].

Для определения приближённого значения напряжения дуги можно воспользоваться выражением [7]

$$U_д = 20 + 0,04 \cdot I_{св}. \quad (3)$$

Видимый недостаток формулы заключается в том, что в ней не учитывается тип, толщина электродного покрытия, длина дуги во время сварки,

которая колеблется в пределах  $0,5d_э \leq l_д \leq 1,5d_э$ . Можно считать, что рассчитанное по формуле (3) значение напряжения дуги относится к электродам с покрытием кислого и рутилового типа. Значение напряжения дуги для электродов с основным типом покрытия целесообразно увеличить до 5%; для электродов с целлюлозным типом покрытия соответственно на 5 ... 10 % [7].

Определим значение напряжения дуги для заварки корневого слоя сварного шва:

$$U_д = 20 + 0,04 \cdot 100 = 24 \text{ В},$$

для электродов с основным покрытием напряжение дуги необходимо повысить на 5% согласно вышесказанным рекомендациям, поэтому принимаем  $U_д = 25 \text{ В}$ .

Таким же образом определим напряжение дуги для заварки заполняющего и облицовочного слоев сварного шва:

$$U_д = 20 + 0,04 \cdot 155 = 26,2 \text{ В},$$

с учетом увеличения напряжения дуги на 5%, получим  $U_д = 27,5 \text{ В}$ .

### 3.4.4 Определение числа проходов

При определении числа проходов необходимо иметь в виду, что площадь поперечного сечения первого прохода должна находиться в пределах 30 ... 35 мм<sup>2</sup>, а последующих проходов в пределах 30 ... 40 мм<sup>2</sup> [7].

Данное условие необходимо учитывать, чтобы обеспечивался стабильный процесс, хорошее формирование шва и полнообъемное протекание всех реакций металлургического характера при сварке [7].

При заниженной величине скорости сварки происходит натекание расплавленного металла на опорную точку дуги, препятствуя этим передаче тепла основному металлу, то есть при большом слое наплавленного металла (площадь поперечного сечения шва более 40 мм<sup>2</sup>) снижается эффективность проплавления основного металла, в результате чего образуются непровары и неблагоприятное формирование шва (возникают газовые и шлаковые включения). Но также и при увеличенной скорости сварки происходит

несоответствующее формирование шва, сопровождающееся образованием непроваров и несплавлений, так как обуславливается это недостаточным значением погонной энергии, а именно малым количеством тепла, которое приходится на единицу длины сварного шва [7].

Для обеспечения благоприятного формирования сварного шва площадь поперечного сечения металла, наплавляющегося за один проход, должна составлять не более  $\text{мм}^2$  [7]:

- для первого прохода (при сварке корневого слоя шва)

$$F_1 = (6 \dots 8) \cdot d_3; \quad (4)$$

- для последующих проходов (последующих слоёв)

$$F_{II} = (8 \dots 12) \cdot d_3. \quad (5)$$

Чтобы определить число проходов, следует рассчитать общую площадь поперечного сечения наплавленного металла (рис. 3).

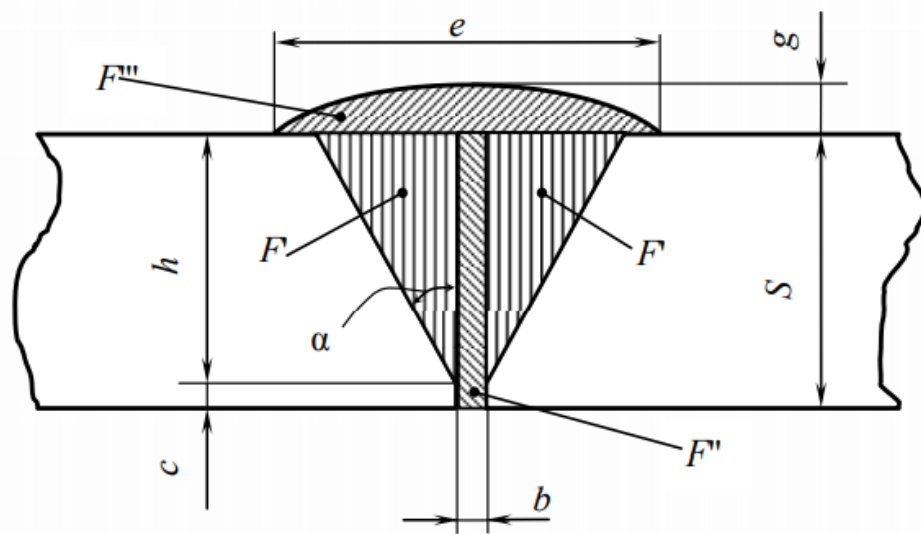


Рисунок 3 – Геометрические элементы площади сечения стыкового шва

Геометрические размеры сварного шва регламентируются ГОСТ 16037-80 и используются номинальные значения размеров (табл. 8). Площадь наплавленного металла определяют как сумму площадей геометрических элементарных фигур [7]:

$$F_H = 2 \cdot F' + F'' + F''', \text{ или } F_H = h^2 \cdot \tan \alpha + b \cdot S + 0,75 \cdot g \cdot e. \quad (6)$$

Определим площадь наплавки с использованием данных из таблицы 8:

$$F_H = 11^2 \cdot \tan 30^\circ + 2 \cdot 12 + 0,75 \cdot 2 \cdot 18 = 120,86 \text{ мм}^2.$$

Найти необходимое количество проходов для обеспечения требуемой геометрии шва возможно при известных значениях площадей поперечного сечения всего наплавленного металла и поперечного сечения наплавленного металла за первый и последующие проходы (слои) сварного шва (4) и (5) [7]:

$$n = \frac{F_H - F_1}{F_H} + 1. \quad (7)$$

Воспользуемся формулой (4) для определения площади поперечного сечения корневого слоя сварного шва:

$$F_1 = (6 \dots 8) \cdot d_3 = 8 \cdot 3 = 24 \text{ мм}^2.$$

Воспользуемся формулой (5) для определения площади поперечного сечения последующих слоев (заполняющего и облицовочного) сварного шва:

$$F_H = (8 \dots 12) \cdot d_3 = 10 \cdot 4 = 40 \text{ мм}^2.$$

Подставив полученные значения из формул (4), (5) в формулу (7), определим необходимое число проходов:

$$n = \frac{F_H - F_1}{F_H} + 1 = \frac{120,86 - 24}{40} + 1 = 3,42.$$

Округлив в бóльшую сторону, назначим 4 прохода для сварки изготавливаемой конструкции.

### 3.4.5 Определение скорости сварки

Скорость дуговой сварки покрытыми электродами в основном задается и регулируется, исходя из размеров сварного шва и может быть определена по формуле [7]

$$V_{св} = \frac{\alpha_n \cdot I_{св}}{3600 \cdot \gamma \cdot F_H'} \quad (8)$$

где  $\alpha_n$  – коэффициент наплавки электрода, г/(А · ч) (для УОНИ-13/45  $\alpha_n = 9,5$  г/(А · ч);

$I_{св}$  – принятое значение сварочного тока, А;

$F_H'$  – 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>).

Скорость сварки может изменяться в зависимости от количества наплавленного металла. Поэтому для каждого прохода необходимо рассчитывать скорость сварки при изменении значения силы сварочного тока и площади поперечного сечения наплавленного металла [7].

При помощи полученных значений силы сварочного тока в пункте 3.4.2, определим скорость сварки по формуле (8):

- для корневого слоя сварного шва

$$V_{св} = \frac{\alpha_n \cdot I_{св}}{3600 \cdot \gamma \cdot F_n} = \frac{9,5 \cdot 100}{3600 \cdot 7,8 \cdot 24 \cdot 10^{-2}} = 0,141 \text{ см/с} = 5,08 \text{ м/ч};$$

- для последующих слоев сварного шва

$$V_{св} = \frac{\alpha_n \cdot I_{св}}{3600 \cdot \gamma \cdot F_n} = \frac{9,5 \cdot 155}{3600 \cdot 7,8 \cdot 40 \cdot 10^{-2}} = 0,131 \text{ см/с} = 4,72 \text{ м/ч}.$$

### 3.4.6 Определение погонной энергии при сварке

Расчет значения погонной энергии сварки ведется по формуле (9). Данное значение показывает количество тепла, которое приходится на единицу длины сварного шва (Дж · с/см) [7]

$$q_{п} = \frac{q_{эф}}{V_{св}} = \frac{I_{св} \cdot U_{д} \cdot \eta_{II}}{V_{св}}, \quad (9)$$

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

$I_{св}$  – ток сварочной дуги, А;

$U_{д}$  – напряжение дуги, В;

$\eta_{II}$  – эффективный КПД нагрева изделия дугой, для сварки покрытыми электродами на постоянном токе находится в пределах 0,75 ... 0,85;

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

Для обозначения погонной энергии используется размерность (Дж/см) [7].



Используя значения силы сварочного тока, напряжений дуги и скорости сварки, полученные в пунктах 3.4.2, 3.4.3 и 3.4.5 соответственно, по формуле (9) определим значения погонной энергии при сварке:

- корневого слоя сварного шва

$$q_{\text{п}} = \frac{I_{\text{св}} \cdot U_{\text{д}} \cdot \eta_{\text{И}}}{V_{\text{св}}} = \frac{100 \cdot 25 \cdot 0,8}{0,141} = 14184,4 \text{ Дж/см};$$

- последующих слоев сварного шва

$$q_{\text{п}} = \frac{I_{\text{св}} \cdot U_{\text{д}} \cdot \eta_{\text{И}}}{V_{\text{св}}} = \frac{155 \cdot 27,5 \cdot 0,8}{0,131} = 26030,5 \text{ Дж/см.}$$

### 3.4.7 Определение глубины проплавления

Глубина проплавления с достаточной степенью точности при необходимости может быть определена по формуле [7]

$$r = \sqrt{\frac{2 \cdot q_{\text{п}}}{\pi \cdot e \cdot c \rho \cdot T_{\text{пл}}}}. \quad (10)$$

Подставив значения всех постоянных величин для низкоуглеродистых и низколегированных конструкционных сталей в формулу (10), получим выражение, определяющее расстояние до изотермы плавления, в котором погонная энергия выражается в тепловых величинах, Дж/см [7]:

$$r = 0,005588 \cdot \sqrt{q_{\text{п}}}. \quad (11)$$

Глубина проплавления при ручной дуговой сварке вычисляется по формуле (12), потому что действительные условия и параметры ввода теплоты в металл отличаются от расчётной схемы [7]:

$$H = (0,5 \dots 0,7) \cdot r. \quad (12)$$

При многослойной сварке нет необходимости расчета глубины проплавления у последующих проходов [7].

Определим глубину провара для корневого слоя сварного шва, используя формулы (11) и (12), а также значение погонной энергии при сварке корня шва из пункта 3.4.6:

$$r = 0,005588 \cdot \sqrt{q_{\text{п}}} = 0,005588 \cdot \sqrt{14184,4} = 0,6655 \text{ Дж/см};$$

$$H = (0,5 \dots 0,7) \cdot r = (0,5 \dots 0,7) \cdot 0,6655 = (0,33 \dots 0,47) \text{ Дж/см}.$$

Если полученная расчетная глубина провара отличается от необходимой более чем на 10 ... 15 %, то требуется изменить параметры режима сварки и провести еще раз проверочный расчет глубины провара основного металла с новыми значениями параметров режима [7].

### 3.5 Расчётная оценка ожидаемого химического состава металла шва

Химический состав металла шва оказывает влияние на его структуру и механические свойства, от него зависят эксплуатационная и технологическая прочность шва [7].

Ожидаемый химический состав наплавленного металла определяется составом электродного и основного металлов, а также долей их количественного участия в шве, а значит режимом и способом сварки, при анализе которых по необходимым критериям, может появиться необходимость в корректировке режиме и его параметров [7].

Химический состав металла сварного шва полностью однороден в пределах одного слоя. Соответственно поэтому в расчете химического состава шва или слоя берется во внимание доля участия основного металла сварного шва [7]:

$$[R]_{\text{ш}} = [R]_{\text{ом}} \cdot \gamma_0 + (1 - \gamma_0) \cdot [R]_{\text{э}} \pm \Delta R, \quad (13)$$

где  $[R]_{\text{ш}}$  – процентное содержание элемента в шве или проходе;

$[R]_{\text{ом}}$  – процентное содержание элемента в основном металле;

$[R]_{\text{э}}$  – процентное содержание элемента в наплавленном металле электродами выбранной марки;

$\pm \Delta R$  – изменение содержания элемента во время сварки в результате его выгорания из сварочной ванны или перехода из покрытия электрода в сварной шов;

$\gamma_0$  – доля участия основного металла в металле шва;

$(1 - \gamma_0)$  – доля участия электродного металла в металле шва.

Во время расчёта химического состава сварного шва, выполненного ручной дуговой сваркой покрытыми электродами,  $\pm \Delta R$  в учёт не идет, так как  $[R]_э$  уже подразумевает все химические реакции электродного металла и покрытия в процессе формирования шва. Доля участия основного металла в металле сварного шва определяется после расчёта площади проплавления и наплавки [7]:

$$\gamma_0 = \frac{F_{пр}}{F_{пр} + F_H} = \frac{F_{пр}}{F_{ш}}, \quad (14)$$

где  $F_H$  – площадь наплавленного металла;

$F_{пр}$  – площадь проплавления основного металла;

$F_{ш}$  – общая площадь шва.

Для упрощения расчётов химического состава шва при многослойной и многопроходной сварке допускаем расчёт как при однослойной сварке по формуле (13). Взяв во внимание то, что в более неблагоприятных условиях находится корень шва (при многопроходной и многослойной сварке), в основном ограничиваются расчётом только его химического состава [7].

В случае сварки разнородных сталей необходимо при расчёте учитывать химический состав и долю участия каждого свариваемого материала. А формула для расчёта имеет вид [7]

$$[R]_{ш} = [R]_{ом1} \cdot \gamma_{01} + [R]_{ом2} \cdot \gamma_{02} + (1 - (\gamma_{01} + \gamma_{02})) \cdot [R]_э \pm \Delta R. \quad (15)$$

В нашем случае свариваются разнородные стали перлитного класса, доля участия каждой из них в составе металла шва определяется как

$$\gamma_{01} = \gamma_{02} = 0,5 \cdot \gamma_0. \quad (16)$$

По условиям сопротивляемости горячим трещинам и эксплуатационной ударной вязкости полученный состав должен иметь необходимое содержание легирующих элементов [7].

Определим долю участия основного металла в металле шва корневого слоя при помощи формулы (14):

$$\gamma_0 = \frac{F_{\text{пр}}}{F_{\text{пр}} + F_{\text{н}}} = \frac{F_{\text{пр}}}{F_{\text{ш}}},$$

где  $F_{\text{н}} = 24 \text{ мм}^2$  – площадь сечения наплавленного металла;

$F_{\text{пр}}$  – площадь сечения проплавленного металла, которая приближённо может быть определена выражением

$$F_{\text{пр}} = 0,73 \cdot e \cdot h, \quad (17)$$

при этом значения ширины  $e$  и глубины провара  $h$  корневого слоя сварного шва возьмём из предполагаемых экспериментально полученных данных, тогда получим:

$$F_{\text{пр}} = 0,73 \cdot e \cdot h = 0,73 \cdot 5 \cdot 1,5 = 5,48 \text{ мм}^2.$$

Следовательно:

$$\gamma_0 = \frac{5,48}{5,48 + 24} = 0,186.$$

Подставив в формулу (16) полученное значение, получим:

$$\gamma_{01} = \gamma_{02} = 0,5 \cdot \gamma_0 = 0,5 \cdot 0,186 = 0,093.$$

Для расчета оценки ожидаемого химического состава металла шва необходимо использовать химический состав свариваемых сталей и наплавленного электродного металла, то есть данные таблиц 2, 4, 6.

При помощи формулы (15) определим ожидаемый химический состав металла шва, то есть содержание в нем:

– углерода ( $C$ )

$$[R]_{\text{ш}} = 0,14 \cdot 0,093 + 0,1 \cdot 0,093 + (1 - (0,093 + 0,093)) \cdot 0,09 = 0,0956 \text{ \%};$$

– марганца ( $Mn$ )

$$[R]_{\text{ш}} = 0,4 \cdot 0,093 + 0,4 \cdot 0,093 + (1 - (0,093 + 0,093)) \cdot 0,57 = 0,5384 \text{ \%};$$

– кремния ( $Si$ )

$$[R]_{\text{ш}} = 0,12 \cdot 0,093 + 0,17 \cdot 0,093 + (1 - (0,093 + 0,093)) \cdot 0,25 = 0,231 \text{ \%};$$

– серы ( $S$ )

$$\begin{aligned} [R]_{\text{ш}} &= 0,05 \cdot 0,093 + 0,025 \cdot 0,093 + (1 - (0,093 + 0,093)) \cdot 0,014 = \\ &= 0,0184 \text{ \%}; \end{aligned}$$

– фосфора ( $P$ )

$$[R]_{ш} = 0,04 \cdot 0,093 + 0,025 \cdot 0,093 + (1 - (0,093 + 0,093)) \cdot 0,017 = \\ = 0,0198 \% .$$

В случае, когда структура металла сварного шва или его химический состав не соответствуют установленным нормам и требованиям, делают выбор иные сварочных материалов, либо назначают другие параметры режима сварки для изменения в нужной степени доли участия основного металла  $\gamma_0$  [7].

### **3.6 Подогрев и термообработка после сварки**

Как уже было определено ранее, сталь 15X1M1Ф обладает ограниченной свариваемостью, так как эквивалентное содержание углерода в ней находится в пределах 0,36 – 0,45% и требует подогрев до температуры 250 ... 400°C и отпуск после сварки. Она склонна к образованию трещин при сварке без подогрева.

В результате сварки могут возникнуть неблагоприятные структуры, поэтому после сварки необходимо назначить термическую обработку, а именно отпуск при 720 ... 740 °C в течение 3 часов. А также допускается нормализация с нагревом до 980 °C в течение 30 минут после отпуска.

### **3.7 Расчет расхода сварочных материалов**

Количеством наплавленного металла вычисляется расход сварочных материалов, которые непосредственно зависят от типа разделки свариваемых кромок и сварного соединения, а также от геометрических размеров сварного шва. Чтобы определить требуемое количество сварочных материалов, требуется знать общую площадь наплавленного металла, плотность наплавленного металла и длину провариваемого участка. Зная перечисленные величины, можно определить массу наплавленного металла [7].

Расход электродов при ручной дуговой сварке можно определить с помощью выражения [7]:

$$G_{\text{э}} = G_{\text{н}} \cdot (1,6 \dots 1,8), \quad (18)$$

где  $G_{\text{н}}$  – масса наплавленного металла, которая находится по формуле

$$G_{\text{н}} = F_{\text{н}} \cdot l_{\text{ш}} \cdot \gamma_{\text{н}}, \quad (19)$$

где  $F_{\text{н}}$  – площадь наплавки,  $F_{\text{н}} = 120,86 \text{ мм}^2$ ;

$l_{\text{ш}}$  – длина шва или провариваемого участка, так как в нашем случае конструкция из труб, то длина шва будет рассчитываться по формуле

$$l_{\text{ш}} = \pi \cdot D, \quad (20)$$

где  $D$  – диаметр свариваемых труб, равный 530 мм;

$\gamma_{\text{н}}$  – плотность наплавленного металла (для стали  $\gamma_{\text{н}} = 7,8 \text{ г/см}^3$ ).

Определим длину шва по формуле (20):

$$l_{\text{ш}} = \pi \cdot D = 3,14 \cdot 530 = 1643 \text{ мм} = 164,3 \text{ см}.$$

Следующим шагом необходимо определить массу наплавленного металла по формуле (19):

$$G_{\text{н}} = F_{\text{н}} \cdot l_{\text{ш}} \cdot \gamma_{\text{н}} = 120,86 \cdot 10^{-2} \cdot 164,3 \cdot 7,8 = 1548,87 \text{ г}.$$

Произведем расчет расхода покрытых электродов по формуле (18):

$$G_{\text{э}} = G_{\text{н}} \cdot (1,6 \dots 1,8) = 1548,87 \cdot (1,6 \dots 1,8) = (2478,2 \dots 2788) \text{ г}.$$

Необходимость большего количества электродов продиктована тем, что электроды имеют покрытие, которое практически не переходит в состав наплавленного металла и неизбежные потери металла при сварке (угар, разбрызгивание, огарки) [7].

### **3.8 Технология сборки и сварки конструкции**

#### **3.8.1 Подготовка сварочных материалов**

Перед сварочными работами выбранные электроды марки УОНИ-13/45 необходимо подвергнуть прокалке в течение 1 часа при температуре 350 – 400 °С.

Электроды с основным типом покрытия, используемые при сварке перлитных сталей, подлежат эксплуатации в течение 5 суток после прокали, если же их использование проводится позже, то необходима повторная прокали. Срок годности электродов не ограничивается в случае их хранения в сушильном шкафу при температуре 80 – 115 °С [8].

### **3.8.2 Подготовка свариваемых кромок**

Разделку кромок можно сделать при помощи кромкорезательной машины или угловой шлифовальной машины. Непосредственно перед сборкой изготовленные под сварку кромки и прилегающие к ним участки поверхностей деталей должны быть зачищены до металлического блеска и обезжирены. Ширина зачищенных участков, считая от кромки разделки, должна быть не менее 20 мм с наружной стороны и не менее 10 мм с внутренней стороны детали [8].

Конструктивные элементы и размеры разделки кромок должны соответствовать типу С17 по ГОСТ 16037-80.

### **3.8.3 Сборка деталей перед сваркой**

При неправильной сборке стыкуемых элементов качественное сварное соединение получить практически невозможно из-за действия сварочных напряжений. За счёт напряжений происходит изменение месторасположения деталей, и как следствие, – формирование недопустимого зазора и отклонение от необходимой плоскости [7].

Собранные стыки труб необходимо прихватывать в нескольких местах по периметру стыка. Прихватки на месте пересечения швов не допускаются, а также нежелательно расположение прихваток в потолочной части [8].

Прихваточные швы требуется производить с полным проваром и по возможности переваривать в процессе выполнения основного шва [8].

К качеству прихваток предъявляются те же требования, что и к сварному шву. Прихватки, которые имеют недопустимые дефекты, обнаруженные во время визуального контроля, требуется удалять механическим способом [8].

При диаметре труб в 530 мм следует назначить 5 прихваток на удалении в 300 – 400 мм друг от друга, длина одной прихватки должна равняться 40 – 60 мм, при этом высота прихватки должна составлять 5 – 6 мм.

Прихватки следует выполнять теми же сварочными материалами, которыми будет выполняться сварка основного шва [8].

Перед прихваткой и сваркой требуется подогрев свариваемого стыка труб до температуры 250 ... 400 °С, который возможно осуществить при помощи индукторов (током промышленной или средней частоты), радиационных нагревателей сопротивления, газового пламени, соблюдая при этом нагрев стыка по всему периметру. Стыки труб с толщиной стенки до 25 мм разрешается нагревать газовым пламенем [8].

Контролирование температуры подогрева можно производить с помощью термопар (ТП), цифровых контактных термометры (ТК – 3М, ТК – 5 и другие), термокрасок, пирометров, термокарандашей [8].

В исключительных случаях, когда температура окружающего воздуха положительная, допускается использование спички для определения температуры подогрева стыка, так как она воспламеняется при температуре металла около 270 °С без трения о его поверхность [8].

При сборке конструкции необходимо контролировать смещение (несовпадение) внутренних поверхностей труб, которое не должно превышать 2 мм [8].

Смещение кромок и прямолинейность поверхностей в месте стыка, то есть отсутствие переломов оси, определяют металлической линейкой, длина которой составляет 400 мм, прикладывая ее ребром в нескольких местах по окружности стыка. Допустимый зазор между линейкой и поверхностью трубы при правильно собранном стыке должен составлять не более 1,5 мм на расстоянии 200 мм от стыка, а в сваренной стыке не более 3 мм [8].



Для предотвращения образования дефектов и качественному формированию шва необходимо обеспечить возможность свободной усадки металла шва во время сварки, сборка стыка с натягом не допускается [8].

Перед прихваткой и началом сварки качество сборки стыка должен проверить сварщик [8].

### **3.8.4 Сварка элементов соединения**

Сварку стыков труб необходимо начинать сразу после прихватки. Временной промежуток между окончанием выполнения прихваток и началом сварки стыка труб из низколегированных теплоустойчивых сталей перлитного класса должен составлять не более 4 ч. Непосредственно перед сваркой необходимо проверить состояние поверхности стыка и в случае необходимости зачистить его [8].

Стыки труб (деталей) из низколегированных теплоустойчивых сталей перлитного класса следует сваривать без перерыва [8].

При вынужденных перерывах в работе (авария, отключение тока) требуется обеспечить необходимость медленного и равномерного охлаждения стыка любыми доступными средствами (например, обкладкой асбестовым одеялом), а при возобновлении сварки следует подогреть стык (если это требуется) до требуемой температуры. Эту температуру нужно поддерживать до окончания сварки. Не допускается никаких силовых воздействий на стык до завершения его сварки и проведения термообработки [8].

В случае многослойной сварки разбивать шов на участки необходимо с таким расчетом, чтобы стыки участков («замки») в соседних слоях не совпадали, а были смещены один относительно другого, и каждый последующий участок перекрывал предыдущий. Размер смещения и перекрытия при ручной дуговой сварке составляет 12-18 мм [8].

Сварку следует выполнять возможно короткой дугой, особенно при использовании электродов с основным покрытием, для которых длина дуги

должна быть не более диаметра электрода. В процессе сварки необходимо как можно реже обрывать дугу. Перед гашением дуги сварщик должен заполнить кратер путем постепенного отвода электрода и вывода дуги назад на 15-20 мм на только что наложенный шов. Последующее зажигание дуги производится на кромке трубы или на металле шва на расстоянии 20-25 мм от кратера [8].

При сварке во избежание зашлаковки металла шва около кромок труб следует наплавлять возможно более плоский валик [8].

В процессе сварки должны быть обеспечены полный провар корня шва и заделка кратера. По окончании наплавки каждого валика необходимо полностью удалить шлак после его охлаждения (потемнения). При обнаружении на поверхности шва дефектов (трещин, скоплений пор и т.п.) дефектное место следует удалить механическим способом до «здорового» металла и при необходимости заварить вновь [8].

Независимо от технологии наложения облицовочного слоя, выполненного ручной дуговой сваркой, он должен отвечать следующим требованиям [8]:

- иметь равномерную чешуйчатость с размером чешуек 1-1,5 мм;
- отсутствие западаний между валиками;
- иметь плавный переход от одного валика к другому и к поверхности трубы;
- выпуклость (усиление) шва следует выдерживать в нормируемых пределах;
- перекрытие крайними валиками кромок труб должно быть 1-3 мм.

Во время сварки конструкции концы труб необходимо заглушить [8].

В нашем случае будет производиться сварка неповоротного вертикального стыка труб диаметром 530 мм, поэтому сварку необходимо вести одновременно двум сварщикам. В этом случае должны быть приняты меры для защиты каждого сварщика от брызг расплавленного металла и шлака.

Сварку первых трех слоев следует выполнять обратноступенчатым способом, при этом длина каждого участка должна быть в пределах 200-250 мм.

Длина участков последующих слоев может составлять половину окружности стыка. Стыки труб с толщиной стенки до 16 мм можно сваривать участками длиной, равной половине окружности, начиная со второго слоя [8].

Наложение валиков первого слоя, если сварку вертикального неповоротного стыка труб диаметром 219 мм и более выполняют два сварщика, производится в следующем порядке (рис. 4): 1-й сварщик начинает сварку от точки А и ведет к точке В, в это время 2-й сварщик сваривает участок от точки Г до точки В; далее 1-й сварщик (без перерыва) продолжает сварку от точки В до точки В, а 2-й переходит к сварке участка от точки А к точке Г [8].

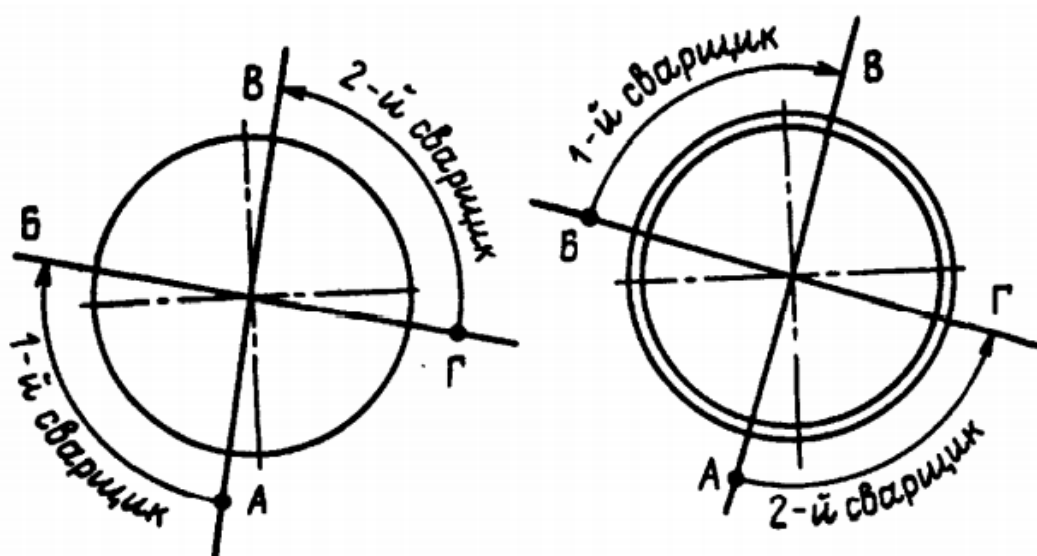


Рисунок 4 – Порядок наложения первого слоя шва при сварке двумя сварщиками вертикальных неповоротных стыков труб диаметром 219 мм и более

Вертикальные неповоротные стыки сваривают в направлении снизу вверх. Начиная сварку слоя в потолочной части стыка, следует отступить на 10-30 мм от нижней точки. Порядок наложения слоев, когда производится сварка неповоротного вертикального стыка двумя сварщиками, показан на рис. 5 [8].

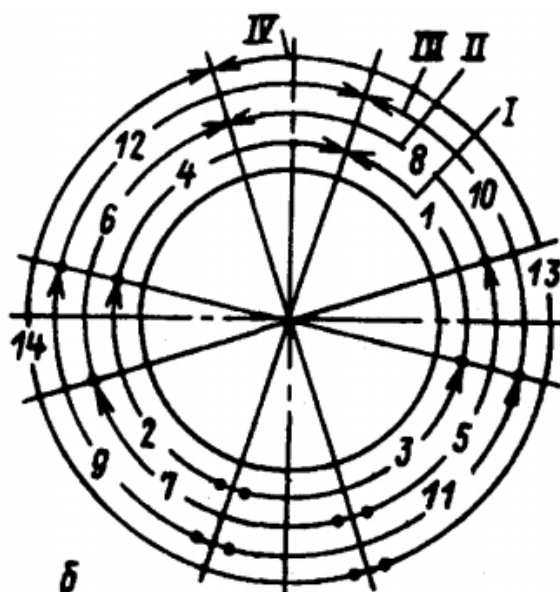


Рисунок 5 – Порядок наложения слоев при сварке двумя сварщиками вертикальных неповоротных стыков труб: 1—14 – последовательность наложения участков (слоев); I—IV – слои шва

### 3.8.5 Отделочные операции

После сварки и полного остывания сварного шва необходимо произвести зачистку сваренного стыка от шлака и брызг металла.

Термообработка сварных соединений труб производится индукционным способом токами промышленной (50 Гц) и средней (до 8000 Гц) частоты, а также радиационным способом — электронагревателями сопротивления (в том числе комбинированного действия) и газопламенными горелками [8].

В нашем случае после сварки нужно произвести термообработку, а именно отпуск при 720 ... 740 °С в течение 3 часов [8].

Контроль сварных соединений должен производиться после термической обработки стыков [8].

### 3.9 Выбор оборудования для сварки

Для ручной дуговой сварки покрытыми электродами основным оборудованием являются источники питания, главными критерии выбора которого служат сварочный ток, род тока, внешняя вольтамперная характеристика (ВВАХ) источника питания, режим стабильной и устойчивой работы оборудования – продолжительность нагрузки (ПН, %) [7].

Для выбранного вида сварки ВВАХ источника должна быть крутопадающая или падающая. При выборе источника питания с жесткой ВВАХ потребуется применение балластного реостата для регулировки сварочного тока [7].

Род тока зависит от возможности использования выбранных электродов на постоянном и переменном токе. При сварке на переменном токе стабильность горения дуги значительно хуже, чем при использовании постоянного тока. Это связано с погасанием дуги в период смены полярности тока, что в свою очередь требует более высокого напряжения для зажигания дуги, чем для её горения [7].

Для ручной дуговой сварки покрытыми электродами возьмем сварочный выпрямитель LINCOLN ELECTRIC IDEALARC DC – 400. Данный источник питания представляет из себя трехфазный трансформатор-выпрямитель с тиристорным управлением, осуществляемым одним потенциометром плавной регулировки выходной мощностью во всем ее диапазоне. Универсальная модель, с жесткой и подающей внешней вольтамперной характеристикой. Имеет встроенные аналоговые вольтметр и амперметр. Функция контроль дуги служит для изменения динамики колебаний тока в сварочной цепи и управляет пинч-эффектом, оказывая влияние при этом на уровень искрообразования, перенос металла, форму и размеры шва. Довольно надежный источник питания для сварки в защитном газе, порошковой проволокой, сварки под флюсом, РДС, аргонодуговой сварки на постоянном токе и электро – дуговой строжки [12].

Основные технические характеристики источника питания представлены в таблице 9.

Таблица 9 – Технические характеристики выпрямителя LINCOLN ELECTRIC IDEALARC DC – 400 [12]

Модель	DC – 400
Напряжение питающей сети, В	220/380/440
Частота питающей сети, Гц	50-60
ПВ, %	100
Потребляемый ток, А	77/45
Диапазон сварочного тока, А	60-500
Номинальная мощность	500А/40В при 50% 450А/38В при 60% 400А/36В при 100%
Габаритные размеры, мм	698x561x840
Масса, кг	215

### 3.10 Деформации и напряжения при сварке

Неравномерный нагрев металла при сварке и его расширение вызывают появление собственных деформаций и напряжений. В отличие от напряжений, создаваемых рабочими нагрузками, в теле при отсутствии внешних существуют собственные деформации и напряжения [7].

Классифицируют собственные напряжения в зависимости от причин их образования, продолжительности существования, характера напряжённого состояния и объёма их взаимного уравнивания [7].

Деформации металла могут быть упругие и пластические. Упругие деформации пропорциональны действующим напряжениям. Кроме напряжений и деформаций, характеризующих состояние отдельных объёмов металла, при сварке возникают перемещения, характеризующие изменение положения точек сварной конструкции в пространстве. Это – укорочение, изгиб, поворот сечений, потеря устойчивости листовых элементов и др. Перемещения позволяют судить

об изменении формы конструкции и о величине возникающих искажений. Деформации и перемещения могут быть временные и остаточные [7].

Внутренние напряжения уменьшают прочность сварной конструкции. Помимо этого, если сварной шов оказывается нагруженным внешними силами, то внутренние напряжения совместно с напряжениями от внешних сил, уменьшают запас прочности конструкции, а иногда могут вызвать её разрушение [7].

Различают напряжения:

- тепловые, которые вызываются неравномерным распределением температуры в процессе сварки;
- структурные, которые возникают в результате структурных превращений, влекущие переохлаждение аустенита в зоне термического влияния и образование закалочных структур мартенсита.

В зависимости от периода существования собственных деформаций и напряжений различают:

- остаточные, которые остаются в конструкции после снятия нагрузки;
- временные, которые существуют в конструкции лишь в определенный временной период.

В зависимости от размеров зоны внутренние напряжения делятся на:

- напряжения I рода – компенсируются в больших объёмах, соизмеримых с размерами конструкции или отдельных ее частей;
- напряжения II рода – компенсируются в микрообъёме тела в области одного или нескольких зёрен;
- напряжения III рода – компенсируются в объёмах, соизмеримых с атомной решеткой и связанных с искажениями атомной решетки.

Напряжения еще можно разделить по направлению действия:

- продольные, действующие вдоль оси сварного шва;
- поперечные, действующие перпендикулярно оси сварного шва.

Особо эффективным способом полного снятия напряжений служит термическая обработка, которой в основном подвергают сварные изделия и конструкции из легированных и теплоустойчивых сталей [7].

В нашем случае для сваренной конструкции необходимо назначить высокий отпуск. При такой термической обработке сварочные напряжения нейтрализуются за счёт того, что предел текучести материала в процессе нагрева сильно падает, и при температуре 720 ... 740 °С сталь 15X1M1Ф, ввиду повышенной прочности, сохраняющейся при менее высоких температурах, близок к нулю; из-за этого материал не оказывает сопротивления пластическим деформациям, в связи с чем внутренние остаточные напряжения исчезают практически в полном объёме [7].

Меры борьбы с деформациями, которые должны применяться до сварки, реализуются на этапе проектирования изготавливаемой сварной конструкции [7].

К ним относятся способы и режимы сварки, которые обеспечивают минимально возможное тепловложение и минимальную зону термического влияния [7].

Протяженные швы не рекомендуется выполнять на проход. В таких случаях сварку благоприятнее вести от середины к краям, то есть обратноступенчатым способом либо пользоваться другими приемами. Иногда производится охлаждение зоны сварки, которое способствует сужению области пластического деформирования и уменьшению остаточных напряжений и деформаций. Прокатка или обжатие сварного шва должна проводиться сразу после процесса сварки. В этом случае область пластических деформаций укорочения претерпевает осадку по толщине. По итогу осадки получается равномерное удлинение металла шва в продольном направлении совместно с компенсацией сварочных деформаций укорочения [7].



### 3.11 Дефекты сварки и методы их контроля

Требования к сварке соединений труб в нитку магистральных нефтепроводов и нефтепродуктопроводов устанавливает РД 25.160.00-КТН-011-10 [13].

Неразрушающий контроль сварных соединений при строительстве и ремонте магистральных трубопроводов регламентирует РД 25.160.10-КТН-016-15 [14]. Согласно которому для изготовленной конструкции необходимо произвести визуальный и измерительный контроль (ВИК), ультразвуковой контроль (УЗК) и радиографический контроль (РК).

ВИК проводится согласно СТО 9701105632-003-2021 [15] и предназначен для:

- проверки соответствия геометрических параметров сварных соединений требованиям НД, ТД и проектной документации;
- обнаружении поверхностных (выходящих на поверхность) и сквозных дефектов сварных соединений типа трещин, подрезов, несплавлений, незаваренных кратеров, прожогов, неметаллических включений, расслоений и т. п. и определения их расположения, размеров и ориентации по поверхности [14].

ВИК проводится в первую очередь, предшествуя другим методам неразрушающего контроля (НК). Недопустимые дефекты, выявленные при ВИК, должны быть устранены до выполнения контроля другими методами НК [14].

УЗК сварных соединений трубопроводов (и их участков после ремонта сваркой) должен выполняться в соответствии с требованиями ГОСТ Р 55724-2013 [16].

УЗК проводится для определения внутренних и выходящих на поверхность протяженных (непровары, несплавления, трещины, подрезы, цепочки скопления пор и включений) и не протяженных (одиночные газовые поры, шлаковые включения) дефектов [14].

Сварное соединение допускается к проведению УЗК при наличии заключения о годности сварного соединения по результатам ВИК [14].

РК сварных соединений трубопроводов (и их участков после ремонта сваркой) должен производиться в соответствии с требованиями ГОСТ 7512-82 [17].

При проведении РК контролируемая зона сварного соединения должна включать не только изображения контролируемого шва, но и прилегающую к нему околошовную зону, шириной не менее толщины стенки [14].

РК проводится для выявления внутренних и выходящих на поверхность дефектов, которыми являются газовые поры, шлаковые включения, непровары, несплавления, трещины, подрезы и др. [14].

Сварное соединение допускается к проведению РК при наличии заключения о годности данного сварного соединения по результатам ВИК и заключения по УЗК [14].

### **3.12 Вывод по разделу**

Результатом выполнения данного раздела является разработанная технология сборки и дуговой сварки покрытыми электродами стыкового соединения труб диаметром 530 мм с толщиной стенки 12 мм из сталей ВСТЗсп и 15Х1М1Ф.

Произведен расчет параметров режима для ручной дуговой сварки покрытыми электродами, при помощи которых можно осуществить сварку данной конструкции, обеспечивая при этом полное проплавление, благоприятное формирование сварного шва и равнопрочность сварного соединения.

Определены режимы термообработки свариваемого стыка труб до и после сварки, так как одна из труб изготовлена из теплоустойчивой стали, которая ввиду своей ограниченной свариваемости должна подвергаться подогреву перед проведением сварочных работ. Во избежание возможных деформаций конструкции назначен высокотемпературный отпуск.

Рассчитан необходимый объем сварочных материалов. Определена схема сборки и сварки с учетом термообработки до сборки и сварки и после сварки. Приведены методы контроля выполненного сварного соединения.

Однако до начала производственных работ по рассчитанным и назначенным режимам требуется проверка их на практике.

Приложение А является комплектом технологической документации на изготовление конструкции, разработанный в связи с вышеперечисленными требованиями и расчетами.

Приложение Б представляет собой чертеж разрабатываемой конструкции.

## 4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

### 4.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

#### 4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Выпускная квалификационная работа по теме «Технология сборки и дуговой сварки труб из разнородных сталей» выполняется в рамках научно-исследовательской работы для организации ООО «Томскнефтехим». Заинтересованными лицами в полученных данных будут являться сотрудники организации. Задача работы заключается в исследовании и разработке процесса ручной дуговой сварки труб из разнородных сталей.

Для успешного внедрения научной разработки необходимо изучить преимущества и недостатки конкурирующих методов сварки, чтобы вносить соответствующие поправки во время создания технологии для её лучшего продвижения на рынке в будущем.

Таблица 10 – Сегментирование рынка

		Показатель		
		Низкий	Средний	Высокий
Технологические свойства	Качество сварного шва	3	2,3	1
	Скорость сварки	3	2	1
	Возможность сварки тонколистового металла	3	2,3	1

Примечание:

1. Механизированная сварка в среде CO<sub>2</sub> – Исп. 1;
2. Механизированная сварка самозащитной проволокой – Исп. 2;
3. Ручная дуговая сварка плавящимся электродом – Исп. 3.

Результат сегментирования показал, что уровень конкуренции низок. Ручная дуговая сварка плавящимся электродом, как видно из сегментирования, хороший способ сварки, при помощи которого можно получать качественные сварные соединения.

#### 4.1.2 Анализ конкурентных технических решений

Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения позволяет провести оценку сравнительной эффективности научной разработки и определить направления для ее будущего повышения.

Таблица 11 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б <sub>с1</sub>	Б <sub>с2</sub>	Б <sub>с3</sub>	К <sub>с1</sub>	К <sub>с2</sub>	К <sub>с3</sub>
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Удобства в эксплуатации	0,15	3	3	5	0,45	0,45	0,75
2. Затраты сварочного материала	0,2	2	2	4	0,4	0,4	0,8
3. Качество сварного соединения	0,15	5	4	4	0,75	0,6	0,6
Экономические критерии оценки эффективности							
1. Цена	0,05	2	2	4	0,1	0,1	0,2
2. Предполагаемый срок эксплуатации	0,2	5	5	5	1	1	1
3. Конкурентоспособность работы	0,25	5	5	4	1,25	1,25	1
Итого	1	22	25	26	3,95	3,8	4,35

Где Б<sub>с1</sub> – механизированная сварка в среде CO<sub>2</sub>;

Б<sub>с2</sub> – механизированная сварка самозащитной проволокой;

Б<sub>с3</sub> – ручная дуговая сварка плавящимся электродом.

Критерии для сравнения и оценки ресурсоэффективности и ресурсосбережения, подбираются, исходя из выбранных объектов сравнения с учетом их технических и экономических особенностей разработки, создания и эксплуатации.

Анализ конкурентных технических решений определяем по формуле [18]:

$$K = \sum B_i \cdot B_i, \quad (21)$$

где  $K$  – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

$B_i$  – вес показателя (в долях единицы);

$B_i$  – балл  $i$ -го показателя.

По результатам расчета видно, что предложенный метод конкурентоспособен по сравнению с аналогичными видами сварки. Наибольшие преимущества наблюдаются в удобстве эксплуатации, затратах на сварочные материалы и в сроке эксплуатации.

#### 4.1.3 SWOT – анализ

SWOT – Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы) – представляет собой комплексный анализ проекта. SWOT-анализ применяют для определения сильных и слабых сторон проекта (табл. 12).

Таблица 12 – Матрица SWOT

Сильные стороны	Слабые
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Широкая область применения;</li> <li>• Использование современного оборудования;</li> <li>• Актуальность проекта;</li> <li>• Возможность выполнения сварного шва во всех пространственных положениях;</li> <li>• Наличие опытного руководителя;</li> <li>• Наличие патента на разработку.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Развитие новых технологий;</li> <li>• Перенастройка оборудования;</li> <li>• Прямая зависимость качества сварного шва от квалификации рабочего;</li> <li>• Много конкурентных фирм.</li> </ul>

## Продолжение таблицы 12

Возможности	Угрозы
<ul style="list-style-type: none"><li>• Получение качественных сварных соединений</li><li>• Регулирование производительности</li><li>• Повышение стоимости конкурентных разработок</li><li>• Применения оборудования, работающего в полевых условиях.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Появление новых технологий</li><li>• Государство не даст средства для реализации темы.</li><li>• Введение дополнительных государственных требований и сертификации программы.</li><li>• Зависимость, незначительная от поставщика.</li></ul>

В результате проведения SWOT анализа были выявлены основные проблемы, с которыми сталкивается или может столкнуться в будущем предприятие, применяя ручную дуговую сварку плавящимся электродом. Из матрицы SWOT видно, что необходимо сделать упор на такие сильные стороны, как возможность выполнения сварного шва во всех пространственных положениях, широкая область применения, так как именно эти сильные стороны проекта связаны с наибольшим количеством возможностей. Что касается слабых стороны, необходимо обратить внимание на улучшение технических параметров и на создании штата из квалифицированных работников. Работа над этими недостатками позволит повысить конкурентоспособность, уменьшить влияние внешних угроз на проект.

### **4.2 Планирование научно-исследовательских работ**

#### **4.2.1 Структура работ в рамках научного исследования**

Прежде чем начать работу над проектом, необходимо провести планирование этапов работы, обозначив при этом занятость каждого из участников, а также привести сроки выполнения каждого этапа. Структура работ и распределение занятости исполнителей приведены в таблице 13.

Таблица 13 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ работы	Содержание работ	Должность исполнителя
Создание проекта	1	Составление и утверждение темы проекта	Руководитель
	2	Анализ актуальности темы	
Выбор направления исследования	3	Поиск и изучение материала по теме	Инженер
	4	Выбор направления исследований	Руководитель, инженер
	5	Календарное планирование работ	
Теоретические исследования	6	Изучение литературы по теме	Инженер
	7	Подбор нормативных документов	
	8	Изучение установки	
Оценка полученных результатов	9	Анализ результатов	Руководитель, инженер
	10	Вывод по цели	

Исходя из таблицы 13 можно сделать вывод о том, что руководитель и инженер, в целом, выполняют одинаковый объем работ.

#### 4.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ

Трудоёмкость выполнения исследования оценивается экспертным путём в силу вероятностного характера величины. За единицу измерения трудоёмкости



принимаются человеко-дни. Ожидаемая трудоёмкость рассчитывается по формуле [18]:

$$t_{ож\ i} = \frac{3t_{min\ i} \cdot 2t_{max\ i}}{5}, \quad (22)$$

где  $t_{ож\ i}$  – ожидаемая трудоёмкость выполнения  $i$ -ой работы человеко-дней;

$t_{min\ i}$  – минимально возможная трудоёмкость выполнения заданной  $i$ -ой работы (оптимистическая оценка: в предположении наиболее благоприятного стечения обстоятельств), человеко-дней;

$t_{max\ i}$  – максимально возможная трудоёмкость выполнения заданной  $i$ -ой работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), человеко-дней.

Исходя из ожидаемой трудоёмкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях, учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями. Такое вычисление необходимо для обоснованного расчета заработной платы, так как удельный вес зарплаты в общей сметной стоимости научных исследований составляет около 65 %.

$$T_{Pi} = \frac{t_{ож\ i}}{ч_i}, \quad (23)$$

где  $T_{Pi}$  – продолжительность одной работы, рабочих дней;

$t_{ож\ i}$  – ожидаемая трудоёмкость выполнения одной работы, человеко-дней;

$ч_i$  – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, человек [18].

#### **4.2.3 Разработка графика проведения научного исследования**

Диаграмма Ганта – горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ.

Для удобства построения графика длительность каждого из этапов работ из рабочих дней следует перевести в календарные дни. Для этого необходимо воспользоваться следующей формулой:

$$T_{ki} = T_{Pi} \cdot k_{кал}, \quad (24)$$

где  $T_{ki}$  – продолжительность выполнения  $i$ -й работы в календарных днях;

$T_{Pi}$  – продолжительность выполнения  $i$ -й работы в рабочих днях;

$k_{кал}$  – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле [18]:

$$k_{кал} = \frac{T_{кал}}{T_{кал} - T_{вых} - T_{пр}}, \quad (25)$$

где  $T_{кал} = 365$  – количество календарных дней в году;

$T_{вых} = 104$  – количество выходных дней в году;

$T_{пр} = 14$  – количество праздничных дней в году.

Тогда:

$$k_{кал} = \frac{365}{365 - 104 - 14} = 1,47.$$

Все рассчитанные значения вносим в таблицу 14. После заполнения таблицы 14 строим календарный план-график (табл. 15).

График строится для максимального по длительности исполнения работ, в рамках научно-исследовательского проекта с разбивкой по месяцам и декадам (10 дней) за период времени дипломирования. При этом работы на графике выделим различной штриховкой в зависимости от исполнителей.

Таблица 14 – Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоёмкость работы									Исполнители	Длительность работ в рабочих днях, $T_{pi}$			Длительность работ в рабочих днях, $T_{ki}$		
	$t_{min}$ , человеко-дни			$t_{max}$ , человеко-дни			$t_{ожи}$ , человеко-дни				Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3
	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3							
Составление и утверждение темы проекта	1	1	1	3	3	3	1,8	1,8	1,8	Руководитель	2	2	2	3	3	3
Анализ актуальности темы	1	1	1	3	3	3	1,8	1,8	1,8	Руководитель-инженер	1	1	1	2	2	2
Поиск и изучение материала по теме	1	1	1	5	5	5	2,6	2,6	2,6	Инженер-руководитель	1	1	1	2	2	2
Выбор направления исследований	1	2	2	3	4	4	1,4	2,8	2,8	Руководитель	1	2	2	2	3	3
Календарное планирование работ	1	1	1	3	3	3	1,8	1,8	1,8	Руководитель	2	2	2	3	3	3
Изучение литературы по теме	7	7	7	14	14	14	9,8	9,8	9,8	Инженер	10	10	10	15	15	15
Подбор нормативных документов	5	6	6	8	9	9	6,2	7,2	7,2	Инженер-руководитель	3	4	4	5	6	6
Изучение результатов	1	2	2	2	3	3	1,4	3	3	Инженер	2	3	3	3	5	5
Проведение расчётов по теме	5	6	6	8	9	9	6,2	7,2	7,2	Инженер	7	8	8	10	11	11
Анализ результатов	1	1	1	4	4	4	2,2	2,2	2,2	Инженер-руководитель	2	2	2	3	3	3
Вывод по цели	1	1	1	4	4	4	2,2	2,2	2,2	Инженер	3	3	3	4	4	4

Таблица 15 – Календарный план-график проведения ВКР по теме

№ работ	Вид работ	Исполнители	Т <sub>ki</sub> , кол-во дней	Продолжительность выполнения работ										
				Март			Апрель			Май				
				1	2	3	1	2	3	1	2	3		
1	Составление и утверждение проекта	Руководитель	3	■										
2	Анализ актуальности темы	Руководитель – инженер	2	■	▨									
3	Поиск и изучение материала по теме	Руководитель	2		▨									
4	Выбор направления исследований	Руководитель	2		▨									
5	Календарное планирование работ	Руководитель	3		▨									
6	Изучение литературы по теме	Инженер	15			■								
7	Подбор нормативных документов	Инженер - руководитель	5				■	▨						
8	Изучение установки	Инженер	6					■						
9	Моделирование установки	Инженер	3						■					
10	Изучение результатов	Инженер	3								■			
11	Проведение расчётов по теме	Инженер	10								■			
12	Анализ результатов	Инженер - руководитель	2								■	▨		
13	Вывод по цели	Инженер	1										■	

■ – Инженер; ▨ – Руководитель.

Исходя из таблицы 15 видно, что данный проект занимает 57 дней от начала составления и утверждения проекта до вывода по цели.

### 4.3 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

При планировании бюджета НТИ необходимо обеспечить полное и достоверное отражение всех видов расходов, связанных с его выполнением. В процессе формирования бюджета надо использовать следующие группировки по статьям:

- материальные затраты НТИ;
- расчет затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- основная заработная плата исполнителей темы;
- дополнительная заработная плата исполнителей темы;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- накладные расходы;
- формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта.

#### 4.3.1 Расчет материальных затрат НТИ

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$Z_m = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m C_i \cdot N_{расх\ i}, \quad (26)$$

где  $m$  – количество видов материальных ресурсов, потребляемых при выполнении научного исследования;

$N_{расх\ i}$  – количество материальных ресурсов  $i$ -го вида, планируемых к использованию при выполнении научного исследования (шт., кг, м, м<sup>2</sup> и т. д.);

$C_i$  – цена приобретения единицы  $i$ -го вида потребляемых материальных ресурсов (руб./шт., руб./кг, руб./м, руб./м<sup>2</sup> и т. д.);

$k_T$  – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы.

Транспортные расходы принимаются в пределах 15-25% от стоимости материалов.

В таблицы 16 представлены стоимость материалов, используемых при разработке проекта.

Таблица 16 – Материальные затраты

Наименование	Единица измерения	Количество			Цена за ед., руб.			Затраты на материалы, (З <sub>м</sub> ), тыс. руб.		
		Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3
Сварочные материалы	кг	3	4,5	3	600	1000	300	2,16	5,4	1,08
Используемые газы	литр	15	-	-	17	-	-	0,306	-	-
Итого								2,46	5,4	1,08

Исходя из полученных значений из таблицы 16, делаем вывод о том, что ручная дуговая сварка плавящимся электродом является дешевым вариантом из вышеперечисленных. Дороговизна механизированной сварки, в свою очередь, обусловлена дорогими материалами, используемыми в этих способах.

#### **4.3.2 Расчет затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ**

В данную статью включают все затраты, связанные с приобретением специального оборудования (приборов, контрольно-измерительной аппаратуры, стендов, устройств и механизмов), необходимого для проведения работ над разрабатываемым проектом.

При приобретении спецоборудования необходимо учесть затраты по его доставке и монтажу в размере 15% от его цены.

Таблица 17 – Расчет бюджета затрат на приобретение спецоборудования

№ п/п	Наименование оборудования	Количество единиц оборудования			Цена за единицы оборудования, тыс. руб.			Общая стоимость оборудования, тыс руб.		
		Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3
1	Источник питания	1	1	1	100	100	40	120	120	48
2	Механизм подачи проволоки	1	1	-	70	70	-	84	84	-
3	Ноутбук	1	1	1	50	50	50	60	60	60
4	Принтер	1	1	1	10	10	10	12	12	12
Итого								276	276	120

Расчет бюджета затрат на приобретение спецоборудования наглядно показал высокую стоимость оборудования для механизированной сварки в СО<sub>2</sub> и самозащитной проволокой более чем в 2 раза, относительно ручной дуговой сварки плавящимся электродом.

#### 4.3.3 Расчет амортизационных отчислений

Написание выпускной квалификационной работы по плану занимает 57 дней. Для моделирования и проведения расчётов используется персональный компьютер первоначальной стоимостью 50000 рублей и принтер стоимостью 12000 рублей. Срок полезного использования для офисной техники составляет от 2 до 3 лет.

Норма амортизации  $H_A$  рассчитывается:

$$H_A = \frac{1}{T} \cdot 100\%, \quad (27)$$

где  $T$  – срок полезного использования, лет.

Если принять срок полезного использования равным 3 годам, тогда норма амортизации  $H_A$ :

$$H_A = \frac{1}{T} \cdot 100\% = 33,3\%.$$

Годовые амортизационные отчисления:

$$A_{год.ноут} = 50000 \cdot 0,33 = 16500 \text{ руб};$$

$$A_{год.прин} = 10000 \cdot 0,33 = 3300 \text{ руб}.$$

Ежемесячные амортизационные отчисления:

$$A_{мес.ноут} = \frac{16500}{12} = 1375 \text{ руб};$$

$$A_{мес.прин} = \frac{3300}{12} = 275 \text{ руб}.$$

Итоговая сумма амортизации основных средств:

$$A_{год.ноут} = 1375 \cdot 2 = 2750 \text{ руб};$$

$$A_{год.прин} = 275 \cdot 2 = 550 \text{ руб}.$$

#### 4.3.4 Основная и дополнительная заработная плата исполнителей темы

В состав основной заработной платы включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы в размере 20-30 % от тарифа или оклада. Расчет основной заработной платы приводится в таблице 18.

Таблица 18 – Расчет основной заработной платы

№ п/п	Наименование этапов	Исполнители по категории	Трудоёмкость человеко-дни			Зарботная плата, приходящаяся на человека, тыс.руб.			Всего заработная плата по тарифу (окладам), тыс.руб.		
			Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3
1	Составление и утверждение темы проекта	Руководитель	2	2	2	4			8,92	8,92	8,92



Продолжение таблицы 18

2	Анализ актуальности темы	Руководитель – инженер	1	1	1	4,872	5,45	5,45	5,45
3	Поиск и изучение материала по теме	Инженер - руководитель	1	1	1	4,872	5,45	5,45	5,45
4	Выбор направления исследований	Руководитель	1	2	2	4	4,48	8,92	8,92
5	Календарное планирование работ	Руководитель	2	2	2	4	8,92	8,92	8,92
6	Изучение литературы по теме	Инженер	10	10	10	0,872	9,77	9,77	9,77
7	Подбор нормативных документов	Инженер - руководитель	3	4	4	4,872	16,4	21,8	21,8
8	Изучение установки	Инженер	4	6	6	0,872	3,9	5,86	5,86
9	Модернизация установки	Инженер	2	3	4	0,872	1,95	2,92	3,9
10	Анализ результатов	Инженер - руководитель	2	2	2	4,872	10,9	10,9	10,9
11	Вывод по цели	Инженер	3	3	3	0,872	2,92	2,92	2,92
Итого							79,1	91,8	92,8

Исходя из таблицы 18, можно заметить, что инженеру, выполняющему проект с ручной дуговой сваркой плавящимся электродом, необходимо заплатить немного больше, чем механизированными видами, в виду того, что будет затрачено больше трудоёмкости на некоторых этапах.

Проведем расчет заработной платы относительно того времени, в течение которого работал руководитель и инженер. Принимая во внимание, что за час работы руководитель получает 500 рублей, а инженер 109 рублей (рабочий день 8 часов).

$$Z_{zn} = Z_{осн} + Z_{доп}, \quad (28)$$

где  $Z_{осн}$  – основная заработная плата;

$Z_{доп}$  – дополнительная заработная плата (12-20 % от  $Z_{осн}$ ).

Максимальная основная заработная плата руководителя (кандидата технических наук) равна примерно 57142 рублей, а инженера 34553 рублей.

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле [18]:

$$Z_{доп} = K_{доп} \cdot Z_{осн}, \quad (29)$$

где  $K_{доп}$  – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимается равным 0,12-0,15).

Таким образом, заработная плата руководителя равна 64000 рублей, инженера – 38700 рублей.

#### 4.3.5 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы [18]:

$$Z_{внеб} = k_{внеб} \cdot (Z_{осн} + Z_{доп}), \quad (30)$$

где  $k_{внеб}$  – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.).

На 2021 г. в соответствии с Федеральным законом от 24.07.2009 №212-ФЗ установлен размер страховых взносов равный 30,2%.

Таблица 19 – Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата, тыс. руб.			Дополнительная заработная плата, тыс. руб.		
	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3
Руководитель	64	67,4	69	76,8	80,88	82,8
Инженер	38,7	42,1	43,2	46,44	50,52	51,84
Коэффициент отчислений	0,302					
Итого						
Исполнение 1	27264,1 руб.					
Исполнение 2	28142,8 руб.					
Исполнение 3	29841,2 руб.					

Таблица 19 показывает, что отчисления во внебюджетные фонды у инженера, выполняющего проект, связанный с ручной дуговой сваркой плавящимся электродом выше, так как процесс выполняется дольше, соответственно и оплачивается больше.

#### 4.3.6 Накладные расходы

Величина накладных расходов определяется по формуле [18]:

$$Z_{\text{накл}} = \left( \sum \text{статей} \right) \cdot k_{\text{нр}}, \quad (31)$$

где  $k_{\text{нр}}$  – коэффициент, учитывающий накладные расходы.

Величину коэффициента накладных расходов можно взять в размере 16%. Таким образом, наибольшие накладные расходы при третьем исполнении равны:

$$Z_{\text{накл}} = 253621,2 \cdot 0,16 = 40579,4 \text{ руб.}$$

#### 4.3.7 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Рассчитанная величина затрат научно-исследовательской работы является основной для формирования бюджета затрат проекта, который при формировании договора с заказчиком защищается научной организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку. Данные бюджета затрат НИИ приведены в таблице 20.

Таблица 20 – Расчет бюджета затрат НИИ

Наименование статьи	Сумма, руб.			Примечание
	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3	
1. Материальные затраты НИИ	2460	5400	1080	Пункт 4.3.1
2. Затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	276000	276000	120000	Пункт 4.3.2

Продолжение таблицы 20

3. Затраты на амортизацию	3300	3300	3300	Пункт 4.3.3
4. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	79100	91800	92800	Пункт 4.3.4
5. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	9492	11016	11136	Пункт 4.3.4
6. Отчисления во внебюджетные фонды	27264,1	28142,8	29841,2	Пункт 4.3.5
7. Накладные расходы	65347,86	65958,75	40579,4	16% от суммы ст. 1-5
8. Бюджет затрат НИИ	462963,9	481617,5	298736,6	Сумма ст.1-6

Из пункта 8 таблицы 20 делаем вывод о том, что ручная дуговая сварка является самым выгодным видом сварки, так как минимальная стоимость оборудования покрывает расходы на заработную плату инженера и руководителя.

#### 4.4 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Его нахождения связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности.

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как [18]:

$$I_{\text{фин. нр}}^{\text{исп. } i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}}, \quad (32)$$

где  $I_{\text{фин. нр}}^{\text{исп. } i}$  – интегральный финансовый показатель разработки;

$\Phi_{pi}$  – стоимость  $i$ -го варианта исполнения;

$\Phi_{\text{max}}$  – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта (в т. ч. аналоги).

$$I_{\text{фин пр}}^{\text{исп. 1}} = \frac{462963,9}{481617,5} = 0,96; I_{\text{фин пр}}^{\text{исп. 2}} = \frac{481617,5}{481617,5} = 1; I_{\text{фин пр}}^{\text{исп. 3}} = \frac{298736,6}{481617,5} = 0,62.$$

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования можно определить следующим образом [18]:

$$I_{pi} = \sum a^i \cdot b^i, \quad (33)$$

где  $I_{pi}$  – интегральный показатель ресурсоэффективности для  $i$ -го варианта исполнения разработки;

$a^i$  – весовой коэффициент  $i$ -го варианта исполнения разработки;

$b^i$  – балльная оценка  $i$ -го варианта исполнения разработки, устанавливается экспериментальным путем по выбранной шкале оценивания;

$n$  – число параметров сравнения.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности рекомендуется проводить в форме таблицы (табл. 21).

Таблица 21 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Критерии объекта исследования	Весовой коэффициент параметра	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3
1. Сварочный материал	0,25	4	4	4
2. Удобство в эксплуатации	0,25	3	3	5
3. Используемые газы	0,15	5	-	-
4. Модернизация установки	0,35	4	4	2
Итого	1	3,9	3,15	2,95

$$I_{p-исп.1} = 4 \cdot 0,25 + 3 \cdot 0,25 + 5 \cdot 0,15 + 4 \cdot 0,35 = 3,9;$$

$$I_{p-исп.2} = 4 \cdot 0,25 + 3 \cdot 0,25 + 4 \cdot 0,35 = 3,15;$$

$$I_{p-исп.3} = 4 \cdot 0,25 + 5 \cdot 0,25 + 2 \cdot 0,35 = 2,95.$$

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки ( $I_{исп.i}$ ) определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{исп.i} = \frac{I_{р-исп.i}}{I_{фин\ ир}}. \quad (34)$$

Тогда:

$$I_{исп.1} = \frac{3,9}{0,96} = 4,06; I_{исп.2} = \frac{3,15}{1} = 3,15; I_{исп.3} = \frac{2,95}{0,62} = 4,76.$$

Сравнение интегрального показателя эффективности вариантов исполнения разработки, позволит определить сравнительную эффективность проекта (табл. 22) и выбрать наиболее целесообразный вариант из предложенных. Сравнительная эффективность проекта ( $\mathcal{E}_{cp}$ ):

$$\mathcal{E}_{cp} = \frac{I_{исп.i}}{I_{исп.max}}. \quad (35)$$

Таблица 22 – Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,96	1	0,62
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	3,9	3,15	2,95
3	Интегральный показатель эффективности	4,06	3,15	4,76
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	0,85	0,66	1

Если сравнительная эффективность вариантов исполнения стремится к единице, то этот вид сварки является самым эффективным. Следовательно, обращая внимание на значения пункта 4 из таблицы 22, можно сделать вывод о

том, что ручная дуговая сварка плавящимся электродом является экономически выгодным относительно механизированных видов сварки.

#### **4.5 Вывод по разделу**

В данном разделе выполнен анализ ресурсоэффективности и ресурсосбережения научно-исследовательской работы – разработки технологии сборки и дуговой сварки труб из разнородных сталей при помощи ручной дуговой сварки плавящимся электродом. Были проанализированы слабые и сильные стороны работы, способы устранения их и использования для продвижения исследовательской работы. Был проведен прогноз внешних угроз и возможностей, учитывая которые можно повысить конкурентоспособность данного проекта.

Также произведено распределение обязанностей по научно-исследовательской работе и рассчитано время, необходимое для выполнения работы. При этом инженер принимал участие в работе почти каждый день, а научный руководитель производил контроль работы и помогал при расчете наиболее ответственных разделов проекта. Общая продолжительность работ составила 57 дней.

Сформирован бюджет затрат НИИ, который составил 298736,6 руб., на зарплату приходится 44 процента затрат.

Расчет показал, что трудовые затраты и стоимость оборудования составляют основную часть от стоимости разработки и составляют 120 тыс. руб. Минимальные затраты составляют материальные затраты НИИ, в сумме около 1,08 тыс. руб.

Расходы по заработной плате определены по трудоемкости выполняемой работы и действующей системы окладов и тарифных ставок и составили: заработная плата руководителя – 64000 руб., заработная плата инженера – 38700 руб. В основную заработную плату внесена премия, которая выплачивается каждый месяц в размере 30 % от оклада.

Накладные и прочие расходы составили в сумме 29049,6 руб., составляет 13,8% от общего бюджета. Все затраты проекта могут быть реализованы, так как оказались ожидаемы.

Сравнив значения интегральных показателей эффективности, можно сделать вывод, что реализация технологии в третьем исполнении является более эффективным вариантом решения задачи, поставленной в данной работе с позиции финансовой и ресурсной эффективности.

По произведенному анализу видим, что ручная дуговая сварка плавящимся электродом является эффективным методом сварки и способна занять свое место на рынке. Данный метод при правильном продвижении и учете внешних и внутренних факторов, может составить сильную конкуренцию имеющимся методам сварки стальных конструкций, но в современных условиях требует постоянного совершенствования, обновления материальной базы и повышение профессионализма сотрудников.



## **5 Социальная ответственность**

### **5.1 Введение**

Объектом исследования является технология сборки и дуговой сварки труб из разнородных сталей. Потенциальными потребителями данной технологии могут являться компании и корпорации, занимающиеся транспортировкой, переработкой нефти и нефтепродуктов, а также транспортировкой газа, возможно применение данной технологии в теплоэнергетической промышленности. Рабочее место сварщика, выполняющего использование данной технологии сборки и сварки, находится в закрытом помещении (цехе).

В связи с множеством вредных и опасных факторов при производстве работ необходимо соблюдать технику безопасности, в соответствии с законодательством Российской Федерации.

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

#### **5.2.1 Правовые нормы трудового законодательства**

Согласно ТК РФ, N 197 –ФЗ [19] работник имеет право на:

- рабочее место, соответствующее требованиям охраны труда;
- обязательное социальное страхование от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний в соответствии с федеральным законом;
- отказ от выполнения работ в случае возникновения опасности для его жизни и здоровья вследствие нарушения требований охраны труда, за исключением случаев, предусмотренных федеральными законами, до устранения такой опасности;
- обеспечение средствами индивидуальной и коллективной защиты в соответствии с требованиями охраны труда за счет средств работодателя;

- внеочередной медицинский осмотр в соответствии с медицинскими рекомендациями с сохранением за ним места работы (должности) и среднего заработка во время прохождения указанного медицинского осмотра.

В трудовом законодательстве РФ закреплён комплекс мер, которые призваны компенсировать работнику риски, связанные с вредными условиями труда.

К их числу относятся:

- дополнительный оплачиваемый отпуск;
- сокращение продолжительности рабочей смены;
- доплата к основному окладу в размере 4%;
- бесплатное санаторно-курортное лечение;
- обеспечение средствами индивидуальной защиты;
- возмещение в натуральной форме, включая бесплатное питание и выдачу молока;
- снижение возрастной планки при выходе на пенсию.

### **5.2.2 Эргономические требования к правильному расположению и компоновке рабочей зоны**

Основной задачей регулирования проектных решений разрешается за счёт соблюдения законов (налоговое законодательство, трудовой и гражданский кодексы). Руководитель (ответственный) принимает обязательства выполнения и организации правил эвакуации и соблюдение требования безопасности в помещении.

Требования к размещению машин для сварки, организации рабочих мест и к производственным помещениям – в соответствии с ГОСТ 12.3.003-86 [20].

Рабочие места электросварщиков должны ограждаться переносными или стационарными светонепроницаемыми ограждениями (щитами, ширмами или экранами) из несгораемого материала, высота которых должна обеспечивать надёжность защиты.

Ширина проходов с каждой стороны рабочего стола и стеллажа должна быть не менее 1 м.

Ширина проходов между установками должна быть: при расположении рабочих мест друг против друга для точечных и шовных машин - не менее 3 м, при расположении машин тыльными сторонами друг к другу - не менее 1 м, при расположении машин передними и тыльным и сторонам и друг к другу - не менее 1,5 м.

Полы производственных помещений для выполнения сварки должны быть негорючие, обладать малой теплопроводностью, иметь ровную нескользкую поверхность, удобную для очистки, а также удовлетворять санитарно-гигиеническим требованиям в соответствии с действующими строительными нормами и правилами.

При установке однофазного источника питания у стены расстояние от стены до источника должно быть не менее 0,5 м.

Открытые траектории в зоне возможного нахождения человека должны располагаться значительно выше уровня глаз. Минимальная высоты траектории 2,2 м.

Рабочее место обслуживающего персонала, взаимное расположение всех элементов (органов управления, средств отображения информации, оповещения и др.) должны обеспечивать рациональность рабочих движений и максимально учитывать энергетические, скоростные, силовые и психофизиологические возможности человека.

Следует предусматривать наличие мест для размещения съемных деталей, переносной измерительной аппаратуры, хранение заготовок, готовых изделий и др.

Установки должны эксплуатироваться специально выделенных помещениях либо могут располагаться в открытом пространстве на фундаментах или платформах транспортных средств.

Помещения должны соответствовать требованиям пожарной безопасности и иметь необходимые средства предотвращения пожара и противопожарной защиты.

Отделку помещений следует выполнять только из негорючих материалов. Не допускается применение глянцевых, блестящих, хорошо (зеркально) отражающих излучение сварочной дуги (коэффициент отражения рекомендуется не более 0,4).

Двери помещений должны иметь знак ультрафиолетовой опасности.

Высота помещений должна быть не менее 4,2 м. Коммуникации (вода, электроэнергия, воздух, и др.) следует прокладывать под полом в специальных каналах с защитными коробами (возвышение над уровнем пола не допускается) или подвешивать кабели на высоте не менее 2,2 м от пола.

При выполнении ручной дуговой сварки должны соблюдаться следующие требования:

- ручная дуговая сварка производится на стационарных постах, оборудованных вытяжной вентиляцией. При невозможности выполнения сварочных работ на стационарных постах, обусловленной габаритами и конструктивными особенностями свариваемых изделий, для удаления пыли и газообразных компонентов аэрозоля от сварочной дуги применяются местные отсосы и/или средства индивидуальной защиты органов дыхания;

- кабели (провода) электросварочных машин располагаются на расстоянии не менее 0,5 м от трубопроводов кислорода и не менее 1 м от трубопроводов ацетилена и других горючих газов;

- электросварочные трансформаторы или другие сварочные агрегаты включаются в сеть посредством рубильников или пусковых устройств.

### 5.3 Производственная безопасность

В данном разделе анализируются потенциальные вредные и опасные факторы, которые могут возникать при проведении работ по разработке или эксплуатации проектируемого объекта исследования.

Для выбора факторов используется ГОСТ 12.0.003-2015 «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация» [21]. Перечень опасных и вредных факторов, характерных для проектируемой производственной среды приведен в таблице 23.

Таблица 23 – Возможные опасные и вредные факторы

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ			Нормативные документы
	Разработка	Изготовлени	Эксплуатаци	
1. Отклонение показателей микроклимата	+	+	+	СанПиН 2.2.4.548-96 [22]
2. Превышение уровня шума и вибрации		+		СН 2.2.4/2.1.8.562-96 [23]
3. Недостаточная освещенность рабочей зоны	+	+		СНиП 23-05-95 [24]
4. Загазованность и запыленность воздуха рабочей зоны	+	+		ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ [25]
5. Ожоги роговицы глаз		+		ГОСТ 12.4.254-2013 ССБТ [26]

Продолжение таблицы 23

6. Опасность поражения электрическим током	+	+		ГОСТ 12.1.019-2017 ССБТ [27]
7. Движущиеся машины и механизмы, подвижные части производственного оборудования	+	+		ГОСТ 12.2.003-91 ССБТ [28]
8. Термическая опасность		+	+	ГОСТ 12.3.003-86 ССБТ [19]
9. Механические травмы	+	+	+	ГОСТ 12.4.125-83 ССБТ [29]

### 5.3.1 Отклонение показателей микроклимата

По уровню энерготрат работы в сварочном цеху относятся к категории Пб с интенсивностью энерготрат 201-250 ккал/ч (233-290 Вт), связанные с ходьбой, перемещением и переноской тяжестей до 10 кг и сопровождающиеся умеренным физическим напряжением.

Таблица 24 – Оптимальные нормы микроклимата в рабочей зоне производственных помещений (согласно СанПиН 2.2.4.548-96)

Период года	Категория работ по уровню энерготрат	Температура воздуха, °С	Температура поверхностей, °С	Относительная влажность воздуха	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	Пб	17-19	16-20	60-40	0,2
Теплый		19-21	18-22	60-40	0,2

Таблица 25 – Допустимые нормы микроклимата в рабочей зоне производственных помещений (согласно СанПиН 2.2.4.548-96)

Период года	Категория работ по уровню энергозатрат	Температура воздуха, °С	Температура поверхностей, °С	Относительная влажность воздуха	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	Пб	19,1-22	14-23	15-75	0,4
Теплый		21,1-27	15-28	15-75	0,5

Микроклимат производственных помещений поддерживается на оптимальном уровне системой водяного центрального отопления, естественной вентиляцией, а также искусственным кондиционированием и дополнительным прогревом в холодное время года.

Микроклимат помещения соответствует оптимальным показателям, а именно относительная влажность воздуха – (42-57) %, скорость движения воздушных потоков – менее 0,2 м/с, температура воздуха в теплый период – (+19-21) °С, температура воздушных потоков в холодное время года – (+17-19) °С.

### 5.3.2 Превышение уровня шума и вибрации

Основными источниками шума при проведении заготовительных и сборочно-сварочных операций являются станки для обработки металла, подвижные передвигающиеся части машин и механизмов, сварочная дуга и шум, издаваемый источником питания сварочной дуги.

Допустимая норма уровня шума регламентируется согласно следующему документу – СН 2.2.4/2.1.8.562-96 «Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки» [23]. Максимальный уровень шума, величина которого колеблется во времени и прерывается, не должна превышать 50-55 дБА.

Максимальный уровень для импульсного шума не должен превышать 125 дБА. Максимальный уровень шума на рабочем месте сварщика не должен превышать 75 дБА.

Для снижения шума в производственных помещениях применяют различные методы коллективной защиты по ГОСТ 12.1.029 [30]. Этими мерами являются:

- уменьшение уровня шума в источнике его возникновения;
- рациональное размещение оборудования;
- борьба с шумом на путях его распространения, в том числе изменение направленности излучения шума;
- использование средств звукоизоляции и звукопоглощения.

Согласно [31] уровень шума на рабочем сборочно-сварочном участке цеха составляет не более 75 дБА и соответствует нормам.

### **5.3.3 Недостаточная освещенность рабочей зоны**

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

Для освещения производственного цеха необходимо использовать, как правило, газоразрядные источники света: лампы ДРЛ, ДРИ; для освещения высоких цехов (до 4 м) большой площади - люминесцентные лампы. Допускается применение ламп накаливания. Для местного освещения рекомендуются светильники с непрозрачными отражателями, имеющими защитный угол  $\geq 30^\circ$ . Если светильники расположены ниже глаз сварщика, то защитный угол может быть в пределах  $10...30^\circ$ .

Рациональное освещение имеет большое значение для высокопроизводительной и безопасной работы. Нормирование значений освещенности рабочей поверхности при сварочных работах помещения составляет 200 лк [24].

Недостаточная освещенность может быть вызвана ошибочным расположением ламп в помещении, отсутствием окон в помещении, не правильным выбором количества осветительных приборов и не рациональной



загрузкой на них электрического тока. Данный фактор может стать причиной неадекватного восприятия человека технологического процесса, его утомления, а также вызвать пульсирующие головные боли.

Для производственных помещений, а также научно-технических лабораторий коэффициент пульсаций освещенности ( $K_{\text{п}}$ ) должен быть не больше 10%. Коэффициент естественного освещения для сварочных и сборочно-сварочных работ должен быть не менее 1,5 % при боковом и 5 % при верхнем или комбинированном освещении [32].

В целях уменьшения пульсаций ламп их включают в разные фазы трехфазной цепи, стабилизируют постоянство прохождения в них переменного напряжения. Но самым рациональным решением данного вредного фактора является изначально правильное расположение и подключение источников света в помещении, путем замеров освещенности, при помощи люксметра, и сравнения полученных результатов с нормативными документами.

Согласно [31] световая среда в производственном цехе предприятия ООО «Томскнефтехим» соответствует допустимым нормам.

### **5.3.4 Загазованность и запыленность воздуха рабочей среды**

Источником фактора на рабочем месте является процесс сварки и резки металла, которые сопровождаются загрязнением воздушной среды оксидами металлов и мелкодисперсной металлической стружкой.

При ручной дуговой сварке плавящимся электродом в воздух рабочей среды выделяется сварочная пыль. Сварочная пыль представляет собой аэрозоль – взвесь частиц оксидов металлов и минералов в газовой среде. Основными составляющими аэрозоля являются оксиды железа (до 70%), марганца, кремния, хрома, фтористые и другие соединения. Наиболее вредны соединения хрома, марганца и фтора. На рабочем месте допускаются следующие предельные концентрации веществ в воздухе (в  $\text{мг}/\text{м}^3$ ): марганец и его соединения – 0,30; хром и его соединения – 0,10; свинец и его соединения – 0,01; цинковые

соединения – 5,00; оксид углерода – 20,00; фтористый водород – 0,50; оксид азота – 5,00.

Концентрация нетоксичной пыли более 10 мг/м<sup>3</sup> не допускается. Однако если содержание кварца в пыли превышает 10%, то концентрация нетоксичной пыли допускается только до 2 мг/м<sup>3</sup>.

Эффективным средством нормализации воздуха в производственных помещениях является вентиляция, которая представляет собой комплекс средств, обеспечивающих воздухообмен, то есть удаление загрязненного нагретого влажного воздуха и подача свежего, чистого воздуха [25].

Согласно [31] показатели концентрации токсичных веществ на рабочем месте сборочно-сварочного участка цеха не превышает допустимые значения и соответствует нормам.

### **5.3.5 Опасность поражения УФ излучением**

Горение сварочной дуги, помимо инфракрасного излучения и видимого света, сопровождается ультрафиолетовым излучением. Яркость световых лучей значительно превышает норму, допускаемую для человеческого глаза, и поэтому зрительная реакция на дугу производит ослепляющее действие.

Ультрафиолетовые лучи при действии даже в течение нескольких секунд вызывают заболевание глаз, называемое электрофтальмией. Оно сопровождается острой болью, резью в глазах, слезотечением, спазмами век. Более продолжительное облучение ультрафиолетовыми лучами вызывает ожоги кожи и роговиц глаз. Инфракрасные лучи при длительном воздействии вызывают помутнение хрусталиков глаза (катаракту). После 20-25 минут работы со сваркой необходимо делать перерыв, чтобы снизить негативное воздействие ультрафиолетового излучения.

Во избежание последствий облучения ультрафиолетовым излучением кожи и сетчатки глаз необходимо соблюдать технику безопасности на рабочем месте. При проведении сварочных работ сварщик обязан быть обеспечен

средствами индивидуальной защиты, сварочной защитной маской и производственной сварочной защитной одеждой. В комплект защитной одежды входят костюм и рукавицы, изготовленные из брезентового материала.

Индивидуальные и коллективные средства защиты от поражения ультрафиолетовым излучением должны соответствовать требованиям ГОСТ 12.4.254-2013 ССБТ [26].

### **5.3.6 Опасность поражения электрическим током**

Поражение электрическим током возникает при замыкании электрической цепи сварочного аппарата через тело человека, которое может привести к летальному исходу.

Источниками возникновения фактора, то есть основными непосредственными причинами электротравматизма, являются:

- прикосновение к токоведущим частям электроустановки, находящейся под напряжением;
- прикосновение к металлическим конструкциям электроустановок, находящимся под напряжением;
- ошибочное включение электроустановки или несогласованные действия обслуживающего персонала.

Для предупреждения поражения электрическим током во время проведения электросварочных работ необходимо соблюдать следующие условия:

- корпуса источников питания дуги, сварочного вспомогательного оборудования и свариваемые заготовки должны быть надежно заземлены. Заземление осуществляется медным проводом, один конец которого закрепляется к корпусу источника питания дуги к специальному болту с надписью «земля», а второй конец присоединяется либо к общей заземляющей шине, либо к металлическому штырю, вбитому в землю;

- для подключения источников сварочного тока к сети должны использоваться настенные ящики с рубильниками, предохранителями и зажимами;

- заземление передвижных источников питания производится до их включения в силовую сеть, а снятие заземления – только после отключения от силовой сети;

- все сварочные провода должны иметь исправную изоляцию и соответствовать применяемым токам. Применение проводов с поврежденной изоляцией категорически запрещается;

- спецодежда электросварщика должна быть сухой и исправной. Куртка, брюки, фартук и рукавицы должны быть из брезента или сукна. Ботинки или кожаные сапоги должны иметь кожаную подошву, прикрепленную деревянными гвоздями.

Рабочее место сварщика должно быть оборудовано и выполнено в соответствии с требованиями ПУЭ и ГОСТ 12.1.019-2017 [27].

Для предупреждения электротравматизма необходимо проводить соответствующие организационные и технические мероприятия:

- оформление работы нарядом или устным распоряжением;
- проведение инструктажей и допуск к работе;
- надзор во время работы.

Для предотвращения поражения электрическим током в производственном цехе предприятия ООО «Томскнефтехим», оборудование оснащено защитным заземлением, занулением в соответствии с техническими требованиями по эксплуатации.

По опасности поражения электрическим током производственный цех предприятия ООО «Томскнефтехим» относится к первому классу – помещения без повышенной опасности (сухое, хорошо отапливаемое, помещение с токонепроводящими полами, с относительной влажностью воздуха 40-50 %).

### **5.3.7 Движущиеся машины и механизмы, подвижные части производственного оборудования**

Источником данного фактора являются машины и оборудование, используемое на производстве.

Производственное оборудование должно обеспечивать безопасность работающих при монтаже (демонтаже), вводе в эксплуатацию и эксплуатации как в случае автономного использования, так и в составе технологических комплексов при соблюдении требований (условий, правил), предусмотренных эксплуатационной документацией [28].

Конструкция производственного оборудования должна исключать на всех предусмотренных режимах работы нагрузки на детали и сборочные единицы, способные вызвать разрушения, представляющие опасность для работающих [28].

Если возможно возникновение нагрузок, приводящих к опасным для работающих разрушениям отдельных деталей или сборочных единиц, то производственное оборудование должно быть оснащено устройствами, предотвращающими возникновение разрушающих нагрузок, а такие детали и сборочные единицы должны быть ограждены или расположены так, чтобы их разрушающиеся части не создавали травмоопасных ситуаций [28].

Конструкция производственного оборудования должна исключать падение или выбрасывание предметов (например, инструмента, заготовок, обработанных деталей, стружки), представляющих опасность для работающих, а также выбросов смазывающих, охлаждающих и других рабочих жидкостей [28].

Движущиеся части производственного оборудования, являющиеся возможным источником травмоопасности, должны быть ограждены или расположены так, чтобы исключалась возможность прикасания к ним работающего или использованы другие средства (например, двуручное управление), предотвращающие травмирование [28].

Если функциональное назначение движущихся частей, представляющих опасность, не допускает использование ограждений или других средств, исключающих возможность прикосания работающих к движущимся частям, то конструкция производственного оборудования должна предусматривать сигнализацию, предупреждающую о пуске оборудования, а также использование сигнальных цветов и знаков безопасности [28].

В непосредственной близости от движущихся частей, находящихся вне поля видимости оператора, должны быть установлены органы управления аварийным остановом (торможением), если в опасной зоне, создаваемой движущимися частями, могут находиться работающие [28].

### **5.3.8 Термическая опасность**

Источником воздействия этого фактора становится работа со сварочным оборудованием в процессе сборки конструкции. Воздействие данного фактора на человека может быть выражено возникновением ожогов вплоть до 4, самой высшей, степени тяжести. Так как температура дуги в процессе сварки достигает 7000 °С, что выше температуры плавления всех существующих металлов. Тепло, распространяющееся в процессе сварки, обеспечивает нагрев всего металла конструкции, который находится вблизи места сваривания частей конструкции.

Для минимизации данного фактора следует руководствоваться ГОСТ 12.3.003-86 ССБТ [20]. Общие требования этого стандарта заключаются в том, что к выполнению сварочных работ допускаются работники в возрасте не моложе 18 лет, прошедшие обучение, инструктаж и проверку знаний по охране труда, освоившие безопасные методы и приемы выполнения работ, методы и приемы правильного обращения с приспособлениями, инструментами и грузами.

В случае возникновения в процессе сварки каких-либо вопросов, связанных с ее безопасным выполнением, работник должен обратиться к своему непосредственному или вышестоящему руководителю.

Работники, занятые сваркой, должны обеспечиваться средствами индивидуальной защиты, такими как специальный костюм, перчатки (краги), сварочная маска и специальная обувь сварщика.

#### **5.4 Экологическая безопасность**

В данном разделе рассматривается характер воздействия проектируемого решения на окружающую среду. Выявляются предполагаемые источники загрязнения окружающей среды, возникающие в результате реализации предлагаемых в ВКР решений [33].

Разрабатываемая конструкция из труб представляет собой сварное соединение из двух труб встык. При производстве данной конструкции в процессе сварки неизбежно присутствует загазованность воздуха рабочей зоны парами вредных химических веществ.

При выполнении работы образовывались следующие отходы: остатки металла после подготовки конструкции к сборке, остатки электродов (огарки). Загрязнители атмосферы поступают в воздух через вентиляционные выбросы, их концентрация относительно невелика, однако из-за огромных валовых выбросов через вентиляцию атмосфера получает большое количество загрязнения. Газообразные отходы, загрязняющие воздух помещения, являются парами металлов, которые появляются при плавлении покрытых электродов. Согласно ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ для минимизации последствий загазованности воздуха на предприятии используется система вентиляции, причем конструкция и разводка вентиляционной сети обеспечивает возможность регулярной очистки воздухопроводов, а внутренние поверхности воздухопроводов вытяжных систем и вентиляторы периодически очищаются от флюса и оксидов металлов, которые оседают на поверхности воздухопроводов.

В рабочей зоне сборочно-сварочного участка производственного цеха предприятия ООО «Томскнефтехим» присутствует местная вытяжная вентиляция, что соответствует нормам ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ.

Утилизация микросхем осуществляется в соответствии с ГОСТ Р 55102-2012 [34].

Устройство, вышедшее из эксплуатации, согласно ГОСТ Р 55102-2012 должно пройти следующие стадии: сбор, хранение, транспортирование и разборка ОЭЭО (отработавшее электротехническое и электронное оборудование) [34].

Приоритетом разборки является обеспечение возможности повторного использования ОЭЭО для первоначальных и иных целей после дополнительной обработки.

При отсутствии возможности повторного использования ОЭЭО подлежит другим способам утилизации, при этом сжигание должно рассматриваться как наименее предпочтительный вариант утилизации, так как все полученные в ходе переработки материалы вторично используются в различных производственных процессах.

Люминесцентные лампы, используемые в цехе и на участках цеха в качестве дополнительного искусственного освещения, утилизируются согласно ГОСТ Р 52105-2003 специализированными и имеющими лицензию на данный вид деятельности организациями [35].

Процесс разработки технологии сборки конструкции представляет из себя работу с информацией, такой как технологическая литература, статьи, ГОСТы и нормативно-техническая документация. Таким образом, процесс разработки исследуемой технологии не имеет влияния негативных факторов на окружающую среду. Использованная макулатура утилизируется согласно ГОСТ Р 55090-2012 и в последствии вторично используется [36].

## **5.5 Безопасность в чрезвычайных ситуациях**

В данном разделе описан краткий анализ возможных чрезвычайных ситуаций (ЧС), которые могут возникнуть при разработке, производстве или эксплуатации проектируемой конструкции [33].



### **5.5.1 Анализ возможных ЧС, которые могут возникнуть при проведении электросварочных работ на производстве**

Наиболее вероятными ЧС на машиностроительном производстве могут являться следующие ситуации:

- пожар;
- взрыв;
- химическое отравление воздуха рабочей среды вредными газами;
- разрушение зданий в результате разрядов атмосферного электричества, урагана;
- различного рода аварии (радиационная, промышленная, химическая, биологическая, транспортная).

### **5.5.2 Наиболее вероятная ЧС, которая может возникнуть при разработке и изготовлении объекта исследования**

Исходя из того, что объект исследований представляет из себя металлическую конструкцию, которую необходимо собрать с помощью сварки, то наиболее вероятной ЧС в данном случае можно назвать пожар, который может возникнуть в результате короткого замыкания в сварочном оборудовании или при возгорании находящихся рядом предметов.

Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС и разработка порядка действия в случае возникновения ЧС.

Мерами, которые следует проводить для предотвращения ЧС, а именно пожара, являются:

- проведение пожарной профилактики;
- установка пожарных извещателей;
- оснастка аудиторий первичными средствами пожаротушения.

Под пожарной профилактикой понимается обучение пожарной технике безопасности и комплекс мероприятий, направленных на предупреждение пожаров.

Пожарная безопасность обеспечивается комплексом мероприятий:

- обучение, в т. ч. распространение знаний о пожаробезопасном поведении (о необходимости установки индикаторов задымленности и хранения зажигалок и спичек в местах, недоступных детям);
- пожарный надзор, предусматривающий разработку государственных норм пожарной безопасности и строительных норм, а также проверку их выполнения;
- обеспечение оборудованием и технические разработки (установка переносных огнетушителей и изготовление зажигалок безопасного пользования).

В соответствии с ТР «О требованиях пожарной безопасности» для административного жилого здания требуется устройство внутреннего противопожарного водопровода [37].

Согласно НПБ 104-03 для оповещения о возникновении пожара в каждом помещении должны быть установлены дымовые оптико-электронные автономные пожарные извещатели, а оповещение о пожаре должно осуществляться подачей звуковых и световых сигналов во все помещения с постоянным или временным пребыванием людей [38].

Согласно СП 12.13130.2009 «Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности» помещение, предназначенное для разработки, изготовления и эксплуатации результатов проекта, относится к типу П-2а. Данным обозначением характеризуются зоны, расположенные в помещениях, в которых обращаются твердые горючие вещества в количестве, при котором удельная пожарная нагрузка составляет не менее 1 мегаджоуля на квадратный метр [39].

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

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

В нашем случае участок должен быть оборудован специальными средствами пожаротушения:

- огнетушитель ОП-5 (порошковый) (для тушения начинающегося пожара твёрдых горючих материалов, легковоспламеняющихся и горючих жидкостей) – 2 шт.;
- огнетушитель углекислотный ОУ-5 (для тушения горючих жидкостей, электроустановок и т. д.) – 2 шт.;
- ящик с сухим и чистым песком (для тушения различных видов возгорания).

В случае возникновения пожара необходимо выполнить следующие действия:

- принять меры к вызову на место пожара группу пожарных, а также непосредственного руководителя или других должностных лиц;
- оповестить персонал производственного помещения и принять меры к тушению очага пожара;
- горящие части электроустановок и электропроводку, находящиеся под напряжением, тушить углекислотным огнетушителем.

В случае срабатывания системы пожарных извещателей необходимо обесточить электрооборудование, отключить систему вентиляции, принять меры тушения (на начальной стадии) и обеспечить срочную эвакуацию сотрудников в соответствии с планом эвакуации, который представлен в производственном цехе предприятия ООО «Томскнефтехим».

## 5.6 Вывод по разделу

В данном разделе ВКР были рассмотрены опасные и вредные факторы для работника в процессе разработки, сборки и эксплуатации технологии сборки и дуговой сварки труб из разнородных сталей. На основе полученных данных были найдены способы уменьшения влияния вредных факторов и способы устранения опасных. Так же были разработаны меры по уменьшению негативного влияния факторов производства на здоровье человека и окружающую среду.

В случае внедрения вышеизложенных методов возможно предотвращение влияния вредных и опасных факторов на человека и экологию. Данная часть ВКР и выводы в процессе написания имеют огромную важность, целью которой является создание безопасных условий для человека и окружающей среды.

Сборочно-сварочный участок производственного цеха ООО «Томскнефтехим» соответствует нормам и требованиям нормативно-технической документации и системам стандартов безопасности труда.

## Заключение

Итогом выполнения выпускной квалификационной работы является разработанная технология изготовления конструкции из труб диаметром 530 мм с толщиной стенки 12 мм, сваренных встык ручной дуговой сваркой, элементы которой изготовлены из углеродистой стали обыкновенного качества ВСтЗсп и низколегированной теплоустойчивой стали 15Х1М1Ф.

В ходе разработки технологии совершен выбор сварочных материалов, определен тип, конструктивные размеры и элементы разделки кромок, произведен расчет параметров режима сварки покрытыми электродами, дана расчетная оценка ожидаемого химического состава металла шва, назначена термообработка места стыка до и после сварки, сделан расчет расхода сварочных материалов, требуемых для изготовления конструкции, описаны подготовительные мероприятия перед сборкой и сваркой, выполнен подбор сварочного оборудования, предложены меры по борьбе с деформациями и напряжениями, возникающими после сваривания конструкции, приведены методы контроля изготовленной конструкции, а также оформлен комплект технологической документации, содержащий все необходимые для изготовления конструкции рекомендации.

При соблюдении изложенного в данной работе материала и рекомендаций можно обеспечить благоприятное формирование сварного шва, равнопрочность и долговечность сварного соединения.

Однако до начала производственных работ по рассчитанным и назначенным режимам требуется проверка их на практике.

По рассчитанным показателям экономической оценки ресурсоэффективности и ресурсосбережения можно уверенно сделать вывод о том, что использование ручной дуговой сварки покрытыми электродами в разрабатываемой технологии считается экономически выгоднее других способов сварки.

Проведен анализ процесса производства конструкции на предмет влияния вредных и опасных производственных факторов на сварщика. Предложены меры и мероприятия для снижения их действия на рабочего, а также для предотвращения и ликвидации, в случае возникновения, чрезвычайных ситуаций. Прописаны требования безопасности при проведении сварочных работ.

## Список использованных источников

1. Сварка и сварщик. Энциклопедия. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://weldering.com/razvitie-svarki-znachenie> (22.05.2021)
2. Рабинович, И. Я. Оборудование для дуговой электрической сварки. Источники питания дуги: учебное пособие для машиностроительных и политехнических вузов. – Москва: Машгиз, 1958. – 375 с.
3. Киселёв С.Н., Шевелев Г.Н., Рошин В.В. и др. Соединение труб из разнородных материалов. – М.: Машиностроение, 1981. – 176 с., ил.
4. ГОСТ 380-2005. Сталь углеродистая обыкновенного качества. Марки.
5. ГОСТ 535-2005. Прокат сортовой и фасонный из стали углеродистой обыкновенного качества. Общие технические условия.
6. ГОСТ 20072-74. Сталь теплоустойчивая. Технические условия.
7. Трущенко Е.А. Технологические основы сварки давлением и плавлением. Сварка плавлением: учебно-методическое пособие / Е.А. Трущенко; Национальный исследовательский Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2010. – 80 с.
8. РД 153-34.1-003-01. Сварка, термообработка и контроль трубных систем котлов и трубопроводов при монтаже и ремонте энергетического оборудования (РТМ-1с).
9. ГОСТ 5264-80. Ручная дуговая сварка. Соединения сварные. Основные типы, конструктивные элементы и размеры.
10. ГОСТ 9467-75. Electroды покрытые металлические для ручной дуговой сварки конструкционных и теплоустойчивых сталей. Типы.
11. ГОСТ 16037-80. Соединения сварные стальных трубопроводов. Основные типы, конструктивные элементы и размеры.
12. Сварочные аппараты, электроды, сварочная проволока, сварочное оборудование и аксессуары Lincoln Electric [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.lincolnelectric.com> (22.05.2021)

13. РД 25.160.00-КТН-011-10. Сварка при строительстве и ремонте магистральных нефтепроводов.
14. РД 25.160.10-КТН-016-15. Магистральный трубопроводный транспорт нефти и нефтепродуктов. Неразрушающий контроль сварных соединений при строительстве и ремонте магистральных трубопроводов.
15. СТО 9701105632-003-2021. Инструкция по визуальному и измерительному контролю.
16. ГОСТ Р 55724-2013. Контроль неразрушающий. Соединения сварные. Методы ультразвуковые.
17. ГОСТ 7512-82. Контроль неразрушающий. Соединения сварные. Радиографический метод.
18. Видяев И.Г. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение: учебно-методическое пособие / И.Г. Видяев, Г.Н. Серикова, Н.А. Гаврикова, Н.В. Шаповалова, Л.Р. Тухватулина, З.В. Криницына; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. – 36 с.
19. «Трудовой кодекс Российской Федерации» от 30.12.2001 N 197 – ФЗ (ред. от 30.04.2021).
20. ГОСТ 12.3.003-86. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Работы электросварочные. Требования безопасности.
21. ГОСТ 12.0.003-2015. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.
22. СанПиН 2.2.4.548-96. Физические факторы производственной среды. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.
23. СН 2.2.4/2.1.8.562-96. Физические факторы производственной среды. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки.
24. СНиП 23-05-95. Естественное и искусственное освещение.
25. ГОСТ 12.1.005-88. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей среды.



26. ГОСТ 12.4.254-2013. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Средства индивидуальной защиты глаз и лица при сварке и аналогичных процессах.

27. ГОСТ 12.1.019-2017. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.

28. ГОСТ 12.2.003-91. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Оборудование производственное. Общие требования безопасности.

29. ГОСТ 12.4.125-83. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Средства коллективной защиты работающих от воздействия механических факторов. Классификация.

30. ГОСТ 12.1.029. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Средства и методы защиты от шума. Классификация.

31. Специальная оценка условий труда ООО «Томскнефтехим». Перечень рекомендуемых мероприятий по улучшению условий труда.

32. ГОСТ 33393-2015. Здания и сооружения. Методы измерения коэффициента пульсации освещенности.

33. Пашков Е.Н., Сечин А.И., Мезенцева И.Л. Методические указания по разработке раздела «Социальная ответственность» выпускной квалификационной работы магистра, специалиста и бакалавра всех направлений (специальностей) и форм обучения ТПУ. – Томск: Изд-во ТПУ, 2019. – 24 с.

34. ГОСТ Р 55102-2012. Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Руководство по безопасному сбору, хранению, транспортированию и разборке отработавшего электротехнического и электронного оборудования, за исключением ртутьсодержащих устройств и приборов.

35. ГОСТ Р 52105-2003. Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Классификация и методы переработки ртутьсодержащих отходов. Основные положения.

36. ГОСТ Р 55090-2012. Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Рекомендации по утилизации отходов бумаги.

37. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности.

38. НПБ 104-03. Проектирование систем оповещения людей о пожаре в зданиях и сооружениях.

39. СП 12.13130.2009. Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности.

40. СТО 00220368-011-2007. Сварка разнородных соединений сосудов, аппаратов и трубопроводов из углеродистых, низколегированных, теплоустойчивых, высоколегированных сталей и сплавов на железоникелевой и никелевой основах.

41. Дедюх Р.И. Тепловые процессы при сварке: учебное пособие / Р.И. Дедюх. – 2-е изд. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2013. – 124 с.

42. Дедюх Р.И. Теория сварочных процессов. Физические и технологические свойства электросварочной дуги. Учебное пособие. – Томск: Изд. ТПУ, 2002. – 92 с.

43. Попов А.А., Попова Л.Е. Изотермические и термокинетические диаграммы распада переохлажденного аустенита: Справочник термиста. – М: Металлургия, 1961. – 429 с.

44. Марочник сталей и сплавов/ М.М. Колосков, Е.Т. Долбенко, Ю.В. Каширский и др.; Под общей ред. А.С. Зубченко – Москва: Машиностроение, 2001. – 672 с.: ил.

45. Готлиб Е.А. Электросварщик оборудования атомных электростанций – Москва: Энергия, 1978. – 26 с., ил.

46. А.Д. Гитлевич и др. Техническое нормирование технологических процессов в сварочных цехах – М: Машгиз – 1962.

47. Акулов А.Н., Бельчук А.К., Демянцевич В.П. Технология и оборудование сварки плавлением. – М.: Машиностроение, 1977. – 432 с.

48. Технология электрической сварки металлов и сплавов плавлением / под ред. Б.Е. Патона. – М.: Машиностроение, 1974. – 658 с.

49. Сварка в машиностроении: справочник в 4-х томах / пред. ред-кол. Г.А. Николаев. – М.: Машиностроение, 1978. – 1979.

50. Технология и оборудование сварки плавлением / под ред. Г.Д. Никифорова. – М.: Машиностроение, 1986. – 320 с.

51. Оборудование для дуговой сварки: справочное пособие / под ред. В.В. Смирнова. – Л.: Энергоатомиздат, 1986. – 656 с.

52. Сварочные материалы для дуговой сварки: справочник в 2-х томах / под ред. Н.Н. Потапова. – М.: Машиностроение, 1989. – 1990.

**Приложение А**  
(Комплект технологической документации)

Дубл.										
Взам.										
Подл.										
							ФЮРА.02190.091	10	1	
				ТПУ				ФЮРА.02190.001		
Стыковое сварное соединение труб диаметром 530 мм								У		
<p>МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ          Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования          национальный исследовательский          ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ</p>										
<p>СОГЛАСОВАЛ          Доцент ОЭИ ИШНКБ          _____ Першина А.А.          23.05.2021 г.</p>					<p>УТВЕРДИЛ          Доцент ОЭИ ИШНКБ          _____ Першина А.А.          23.05.2021 г.</p>					
<p>КОМПЛЕКТ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ          на единичный технологический процесс изготовления стыкового сварного соединения труб          диаметром 530 мм с толщиной стенки 12 мм из сталей ВСтЗсп и 15Х1М1Ф</p>										
<p>ПРОКОНТРОЛИРОВАЛ          Доцент ОЭИ ИШНКБ          _____ Киселёв А.С.          23.05.2021 г.</p>					<p>РАЗРАБОТАЛ          Студент группы 1В71          _____ Иванов А.Г.          22.05.2021 г.</p>					
Акт №1 от 23.05.2021 г.							РД 153-34.1-003-01			
<b>ТЛ</b>	Титульный лист									

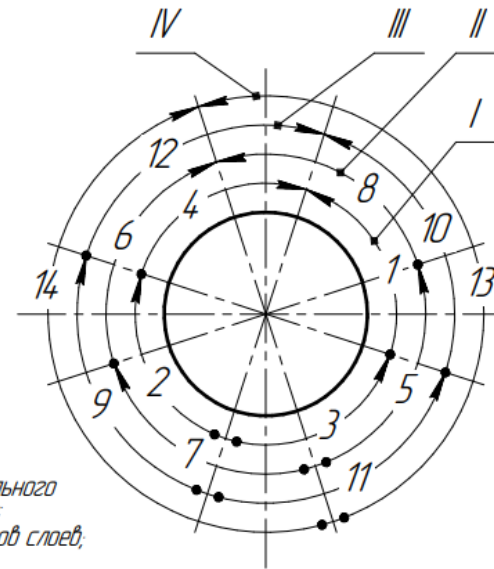
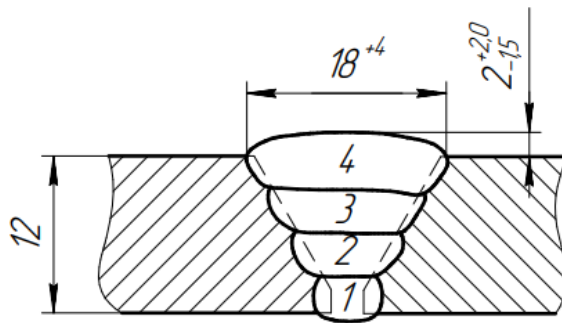


ГОСТ 3.1105-84

Форма 7

Добыл										
Взял										
Подл										
							ФЮРА.02190.091	2	2	
Разраб	Иванов А.Г.		22.05.2021	ТПУ			ФЮРА.20190.003			
Проверил	Киселев А.С.									
							Стыковое сварное соединение труб диаметром 530 мм		У	015
Н. контр.	Першина А.А.									

### Сварка неповоротного стыка трубопровода



Порядок наложения слоев при сварке вертикального неповоротного стыка труб двумя сварщиками:  
 1-14 - последовательность наложения участков слоев;  
 I-IV - слои шва.

Примечание: Сварку первых трех слоев в швах стыков труб следует выполнять обратноступенчатым способом, при этом длина каждого участка не должна превышать 200-250 мм. Длина участков последующих слоев может составлять половину окружности стыка. При этом на свариваемые кромки не должны попадать крупные брызги расплавленного металла и сварка должна быть выполнена без прожогов. Для этого дуга должна быть короткой. Отрывая дугу от ванны, нельзя удалять ее более чем на 1-2 мм. Перекрытие начала и конца смежного слоя должно составлять 20-25 мм. Последующий слой сварки должен быть смещен от нижней точки окружности трубы на 5-6 см, и так каждый последующий слой относительно начальной точки сварки предыдущего. Сварные соединения разрешается оставлять незаконченными только на одни сутки после окончания рабочего дня или при остановке работ.

КЭ

20















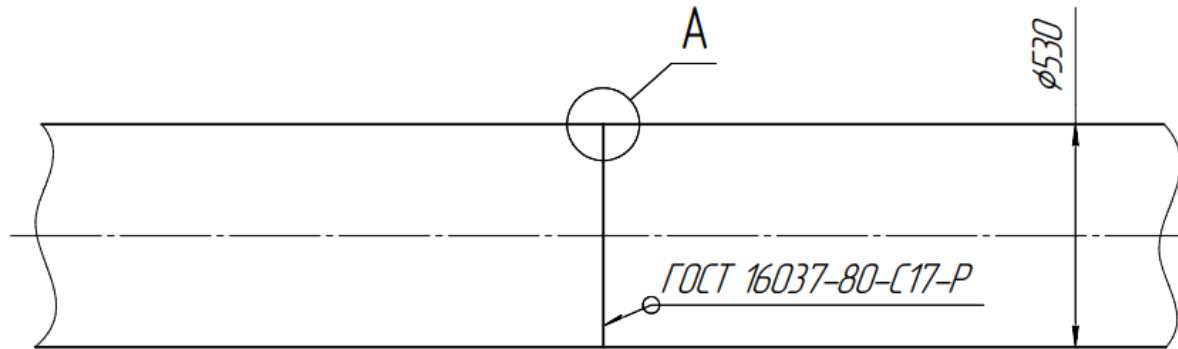


**Приложение Б**  
(Чертеж разрабатываемой конструкции)

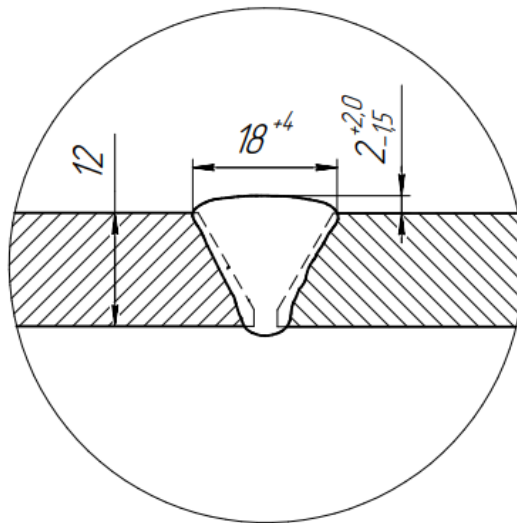
ФЮРА.302162.091

Листов. количество

Справ. №



A(22:1)



Листы и дата

Изд. № докум.

Изд. № докум.

Листы и дата

Изд. № докум.

				ФЮРА.302162.091			
Изм/Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Стыковое соединение труб	Лист	Масса	Масштаб
Разработ	Иванов А.Г.						1:10
Проект	Киселев А.С.				Лист	Листов	1
Инженер	Першина А.А.				ТПУ ИШНКБ Группа 1871		
Утв.							Формат А3

Копировал