

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



Институт Инженерная школа неразрушающего контроля и безопасности
Направление подготовки 15.03.01 Машиностроение. Оборудование и технология
сварочного производства
Кафедра Отделение электронной инженерии

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Технология дуговой сварки соединений толстостенных элементов паропроводов из теплоустойчивых сталей

УДК 621.791.75.05:621.186.3

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-1В71	Кудрин Антон Алексеевич		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭИ	Першина А.А.	К.Т.Н		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН	Якимова Т.Б.	К.Э.Н		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ООД	Мезенцева И.Л.			

Нормоконтроль

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭИ	Арышева Г.В.	К.Т.Н		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

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

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
	<i>Профессиональные компетенции</i>
ОПК-1	с умением использовать основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности, применять методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования
ОПК-2	осознанием сущности и значения информации в развитии современного общества
ОПК-3	владением основными методами, способами и средствами получения, хранения, переработки информации
ОПК-4	умением применять современные методы для разработки малоотходных, энергосберегающих и экологически чистых машиностроительных технологий, обеспечивающих безопасность жизнедеятельности людей и их защиту от возможных последствий аварий, катастроф и стихийных бедствий; умением применять способы рационального использования сырьевых, энергетических и других видов ресурсов в машиностроении
ОПК-5	способностью решать стандартные задачи профессиональной деятельности на основе информационной и библиографической культуры с применением информационно-коммуникационных технологий и с учетом основных требований информационной безопасности
	<i>Универсальные компетенции</i>
ПК-1	способностью к систематическому изучению научно-технической информации, отечественного и зарубежного опыта по соответствующему профилю подготовки
ПК-5	умением учитывать технические и эксплуатационные параметры деталей и узлов изделий машиностроения при их проектировании
ПК-8	умением проводить предварительное технико-экономическое обоснование проектных решений
ПК-9	умением проводить патентные исследования с целью обеспечения патентной чистоты новых проектных решений и их патентоспособности с определением показателей технического уровня проектируемых изделий
ПК-10	умением применять методы контроля качества изделий и объектов в сфере профессиональной деятельности, проводить анализ причин нарушений технологических процессов в машиностроении и разрабатывать мероприятия по их предупреждению
ПК-11	способностью обеспечивать технологичность изделий и процессов их изготовления; умением контролировать соблюдение технологической дисциплины при изготовлении изделий
ПК-12	способностью разрабатывать технологическую и производственную документацию с использованием современных инструментальных средств
ПК-13	способностью обеспечивать техническое оснащение рабочих мест с размещением технологического оборудования; умением осваивать вводимое оборудование

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



Институт Инженерная школа неразрушающего контроля и безопасности
 Направление подготовки 15.03.01 Машиностроение. Оборудование и технология
сварочного производства
 Кафедра Отделение электронной инженерии

УТВЕРЖДАЮ:
 Руководитель ООП

 (Подпись) (Дата) Першина А.А.
 (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврской работы

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

Студенту:

Группа	ФИО
3-1В71	Кудрин Антон Алексеевич

Тема работы:

Технология дуговой сварки соединений толстостенных элементов паропроводов из теплоустойчивых сталей	
Утверждена приказом проректора-директора (директора) (дата, номер)	

Срок сдачи студентом выполненной работы:	16.06.2022
--	------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе <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>Материал конструкции – теплоустойчивая сталь 15X1M1Ф по ТУ-14-ЗР-55-2001; Тип производства – единичный.</p>
<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Обзор литературы 2. Описание конструкции 3. Разработка технологии сборки и сварки <ol style="list-style-type: none"> 3.1. Выбор способа сварки 3.2. Выбор сварочных материалов 3.3. Расчет параметров режима сварки 3.4. Выбор сварочного оборудования 3.5. Заготовительные операции 3.6. Сборочные операции 3.7. Сварочные операции 3.8. Термообработка сварных соединений труб 3.9. Контроль качества сварных соединений 4. Комплект технологической документации

Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	Комплект технологической документации
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i>	
Раздел	Консультант
Обзор литературы	Першина А.А., к.т.н., доцент ОЭИ
Описание сварной конструкции	Першина А.А., к.т.н., доцент ОЭИ
Разработка технологии	Першина А.А., к.т.н., доцент ОЭИ
Комплект технологических документов	Першина А.А., к.т.н., доцент ОЭИ
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Якимова Т.Б., к.э.н., доцент ОСГН
Социальная ответственность	Мезенцева И.Л. ассистент ООД
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языке:	
Введение	
Заключение	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	04.02.2022
---	------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭИ	Першина А.А.	к.т.н		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-1В71	Кудрин А.А.		

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



Инженерная школа неразрушающего контроля и безопасности
 Направление подготовки 15.03.01 Машиностроение
 Уровень образования высшее
 Отделение электронной инженерии
 Период выполнения весенний семестр 2022 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:	16.06.2022
--	------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
17.02.2022	1. Обзор литературы	10
28.02.2022	2. Описание конструкции	10
15.03.2022	3. Разработка технологии сборки и сварки 3.1 Выбор способа сварки 3.2 Выбор сварочных материалов	10
30.03.2022	3.3 Расчет параметров режима сварки 3.4 Выбор сварочного оборудования	10
05.04.2022	3.5 Заготовительные операции	10
20.04.2022	3.6 Сборочные операции 3.7 Сварочные операции	10
05.05.2022	3.8 Термообработка сварных соединений труб	10
15.05.2022	3.9 Контроль качества сварных соединений	10
25.05.2022	4. Комплект технологической документации	10
01.06.2022	5. Заключение	10

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭИ	Першина А.А.	К.Т.Н		

СОГЛАСОВАНО:

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

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа _____ 80 _____ с., _____ 10 _____ рис., _____ 27 _____ табл.,
_____ 25 _____ источников, _____ 1 _____ приложения.

Ключевые слова: свариваемость, зона термического влияния, холодные трещины, ручная аргонодуговая сварка, низколегированная сталь

Актуальность работы: разработка данной технологии позволит повысить качество сварного шва при сварке толстостенных труб из жаропрочных низколегированных сталей

Объектом исследования является: разработка технологии сварки толстостенных труб из жаропрочной стали, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Цели и задачи исследования (работы): обоснование актуальности выбранной темы ВКР; разработка технологической части ВКР; выбор современного оборудования; выполнение расчетов режимов сварки с последующей термообработкой; выполнение расчета сметной стоимости работ; раскрытие требований безопасности труда при выполнении сварочных работ; проанализировать потенциально возможные вредные и опасные факторы, возникающие при выполнении сварочных работах.

Работа представлена введением, _____ 5 _____ разделами и заключением, приведен список публикаций студента, список использованных источников.

В 1-м разделе «Описание сущности способов сварки. Характеристики материалов» рассмотрены характеристики стали 15Х1М1Ф, выбраны способы сварки, подобраны сварочные материалы.

Во 2-м разделе «Материалы и методы исследования» рассмотрены особенности технологии сборки и сварки труб, какие предъявляются требования к сборочным элементам, последующая термообработка и режимы.

В 3-м разделе «Расчеты и результаты исследования» рассчитаны режимы сварки, рассмотрены виды не разрушающего контроля, методы определения твердости металла сварного шва.

В 4-м разделе «Финансовый менеджмент» произведен расчет нормативной продолжительности выполнения работ и сметной стоимости работ.

В 5-м разделе «Социальная ответственность» рассмотрел правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности, производственную безопасность, провел анализ потенциально возможных и опасных факторов, рассмотрел вопросы экологической безопасности, произвел анализ возникновения вероятных ЧС, в заключении к разделу, на основе рассмотренных нормативных документов, СП, ГОСТов выбрал средства индивидуальной защиты, предложил мероприятия по снижению воздействия вредных и опасных факторов.

В заключении изложены выводы на основе проведенных расчётов о возможном получении характеристик удовлетворяющих заданным требованиям.

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

Студенту:

Группа	ФИО
3-1В71	Кудрину Антону Алексеевичу

Институт	ИШНКБ	Отделение	ОТСП
Уровень образования	Бакалавр	Направление/специальность	15.01.03 Машиностроение

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

1. Стоимость ресурсов: материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Стоимость выполняемых работ, материальных ресурсов, согласно применяемой техники и технологии, в соответствии с рыночными ценами. Должностной оклад сварщиков
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	Нормы времени на выполнение работ
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов.	В соответствии с налоговым кодексом Российской Федерации. Отчисления во внебюджетные фонды – 30%

Перечень вопросов, подлежащих разработке:

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения исследования с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	Технико-экономическое обоснование целесообразности выполнения работ
2. Планирование и формирование бюджета проекта	Определение текущих затрат на сварочные работы

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)

1. Методы определения сметной стоимости
2. Смета затрат

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН	Якимова Т.Б.	К.Э.Н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-1В71	Кудрин Антон Алексеевич		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
3-1В71	Кудрину Антону Алексеевичу

Школа	ИШНКБ	Отделение (НОЦ)	ОТСП
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	15.01.03Машиностроение

Тема ВКР:

Технология дуговой сварки соединений толстостенных элементов паропроводов из теплоустойчивых сталей

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

<p>Введение</p> <ul style="list-style-type: none"> – Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика) и области его применения. – Описание рабочей зоны (рабочего места) при эксплуатации. 	<p><i>Объект исследования:</i> <u>разработка технологии дуговой сварки соединений толстостенных элементов паропроводов из теплоустойчивой стали.</u></p> <p><i>Область применения:</i> <u>монтаж/ремонт котельного оборудования.</u></p> <p><i>Рабочая зона:</i> <u>производственное помещение.</u></p> <p><i>Размеры помещения, в метрах (ДхШхВ):</i> <u>108х60х121.</u></p> <p><i>Количество и наименование оборудования рабочей зоны:</i> <u>котельный агрегат П-67 – 1 шт.</u></p> <p><i>Рабочие процессы, связанные с объектом исследования, осуществляющиеся в рабочей зоне:</i> <u>сварочные, слесарные.</u></p>
---	---

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<p>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности при эксплуатации:</p> <ul style="list-style-type: none"> - специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; - организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. 	<ul style="list-style-type: none"> - Трудовой кодекс РФ №197-ФЗ от 30.12.2001г. - ГОСТ 12.2.033-78 Рабочее место при выполнении работ стоя. - СП 2.2.3670-20 Санитарно-эпидемиологические требования к условиям труда.
<p>2. Производственная безопасность при эксплуатации:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Анализ выявленных вредных и опасных производственных факторов. 	<p>Вредные производственные факторы:</p> <ul style="list-style-type: none"> - повышенный уровень шума на рабочем месте; - недостаточная освещенность рабочей зоны; - неудовлетворительный микроклимат. <p>Опасные производственные факторы:</p> <ul style="list-style-type: none"> - электрический ток. <p>Требуемые средства коллективной и индивидуальной защиты от выявленных факторов:</p> <ul style="list-style-type: none"> - использование беруш, наушников;

	<ul style="list-style-type: none"> - использование дополнительных прожекторов освещения; - соблюдать рабочий режим, при необходимости делать перерывы в работе; - металлические конструкции должны заземляться.
3. Экологическая безопасность при эксплуатации.	<p><i>Воздействие на селитебную зону: <u>повышение заболеваемости дыхательных путей, «аллергизация» населения, нарушение работы организма человека.</u></i></p> <p><i>Воздействие на атмосферу: <u>загрязнение аэрозолями металлов и их окислами, которые способны вызывать кислотные дожди.</u></i></p>
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях при эксплуатации.	<p>Возможные ЧС:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Пожары, взрывы; 2. Террористический акт; <p>Наиболее типичная ЧС: пожары, взрывы.</p>

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	04.02.2022
--	-------------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ООД	Мезенцева И.Л.			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-1В71	Кудрин Антон Алексеевич		

Оглавление

Введение	13
1 Описание сущности способов сварки. Характеристики материалов.	15
1.1 Описание конструкции	15
1.2 Характеристика стали 15Х1М1Ф	16
1.3 Технологическая свариваемость материала	17
1.4 Выбор способа сварки	18
1.5 Описание способов сварки	20
1.5.1 Ручная дуговая сварка покрытыми электродами	20
1.5.2 Аргонодуговая ручная сварка неплавящимся электродом	21
1.6 Выбор сварочных материалов	23
1.6.1 Выбор сварочных материалов для РДС	23
1.6.2 Характеристика сварочных электродов ТМЛ-3У	25
1.6.3 Выбор сварочных материалов для аргонодуговой ручной сварки неплавящимся электродом	25
2 Материалы и методы исследования	28
2.1 Подготовка деталей к сварке	28
2.2 Сборка стыков труб	29
2.3 Выполнение прихваток	31
2.4 Подогрев стыков при прихватке и сварке	32
2.5 Технология сварки стыков труб	32
2.6 Термообработка сварных соединений труб	36
3 Расчеты и результаты исследования	41
3.1 Расчет режимов сварки РДС	41
3.1.1 Выбор диаметра электрода	41
3.1.2 Определение сварочного тока	42
3.1.3 Напряжение на дуге	43
3.1.4 Определение числа проходов	44
3.1.5 Определение скорости сварки	46
3.1.6 Определение погонной энергии	46
3.1.7 Определение количества участия основного металла в металле шва	47
3.1.8 Расчетная оценка ожидаемого химического состава металла шва	48
3.1.9 Расход сварочных материалов	49
3.1.10 Выбор источника питания	50

3.2	Контроль качества сварных соединений	52
3.2.1	Визуальный и измерительный контроль	52
3.2.2	Измерение твердости металла шва	54
3.2.3	Ультразвуковая дефектоскопия	55
4	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	57
4.1	Расчет нормативной продолжительности выполнения работ	57
4.2	Расчет сметной стоимости работ	58
4.3	Заключение по главе 4	62
5	Социальная ответственность	63
5.1	Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	63
5.1.1	Специальные (характерные для рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства	63
5.1.2	Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны	66
5.1.3	Производственная безопасность	66
5.1.4	Анализ потенциально возможных и опасных факторов, которые могут возникнуть на рабочем месте при проведении сварочных работ	68
5.1.5	Характеристики и допустимые уровни шума на рабочих местах	69
5.1.6	Санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны	70
5.1.7	Естественное и искусственное освещение	71
5.2	Экологическая безопасность	72
5.2.1	Анализ влияния сварочного процесса на окружающую среду	72
5.2.2	Решение по обеспечению экологической безопасности	74
5.3	Безопасность в чрезвычайных ситуациях	75
5.3.1	Анализ вероятных ЧС, которое может инициировать объект исследований и обоснование мероприятий по предотвращению ЧС	75
5.4	Заключение по главе 5	76
	Заключение	77
	Список использованных источников	78

Введение

В настоящее время актуальной задачей является необходимость изучения возможности оптимизации расходов и издержек производства, а также повышение качества сварного шва на примере сварки монтажного узла трубопровода «острого пара» диаметром 377 мм и толщиной стенки 70 мм, котельного агрегата П-67 «Берёзовской ГРЭС» ПАО «Юнипро» при ремонтно-восстановительных работах 3-го энергоблока.

Целью выпускной квалификационной работы является разработка технологии дуговой сварки соединений толстостенных элементов паропроводов из теплоустойчивой стали перлитного класса 15X1M1Ф. Рассмотрение возможности использования комбинированного способа с использованием ручной аргонодуговой сварки неплавящимся электродом для проварки корневого слоя шва и РДС для последующего выполнения заполняющего и облицовочного слоя шва.

Металлургическая свариваемость теплоустойчивых перлитных сталей, определяемая отношением металла к плавлению, металлургической обработке и последующей кристаллизации шва, не вызывает существенных осложнений. Технология сварки и сварочные материалы на современном уровне обеспечивают необходимую стойкость металла шва против образования горячих трещин и высокие характеристики, предъявляемые к основному металлу.

Тепловая же свариваемость осложняется склонностью сварных соединений к образованию холодных трещин и разупрочнением свариваемого металла в зоне термического влияния сварки.

В процессе выполнения работы решаются такие задачи как:

- обоснование актуальности выбранной темы ВКР;
- разработка технологической части ВКР;
- выбор современного оборудования;
- выполнение расчетов режимов сварки с последующей термообработкой;

- выполнение расчета сметной стоимости работ;
- раскрытие требований безопасности труда при выполнении сварочных работ;
- проанализировать потенциально возможные вредные и опасные факторы, возникающие при выполнении сварочных работах.

Для разработки данной технологии была использована информация из справочника: - Сварка и свариваемые материалы. В.Н. Волченко т.І. «Свариваемость материалов» под редакцией Э.Л. Макарова [2]. Данный справочник включает в себя общие положения по свариваемости материалов, а также конкретные данные о составе низколегированных жаропрочных сталей и особенностях их сварки. Приведены сведения о выборе вспомогательных материалов (флюсов, защитных газов, электродов, проволоке) и режимов сварки.

Также был использован РД 153-34.1-003-01 (РТМ-1с) Руководящий документ «Сварка, термообработка и контроль трубных систем котлов и трубопроводов при монтаже и ремонте энергетического оборудования» [1]. Руководящий документ определяет технологию сборочно-сварочных работ, термической обработки сварных стыков труб, а также объем и порядок контроля и нормы оценки качества сварных соединений; он охватывает все виды сварки, применяющиеся при монтаже и ремонте энергетического оборудования и трубных систем котлов и трубопроводов.

1 Описание сущности способов сварки. Характеристика материалов

1.1 Описание конструкции

Рассматриваемый монтажный узел (рисунок 1) состоит из двух труб диаметром 377 мм с толщиной стенки 70 мм. Сварка стыка *I* выполняется комбинированным способом непосредственно на месте монтажа, а именно корневой слой – ручной аргонодуговой сваркой неплавящимся электродом, заполнение и облицовка выполняются ручной дуговой сваркой плавящимся электродом.

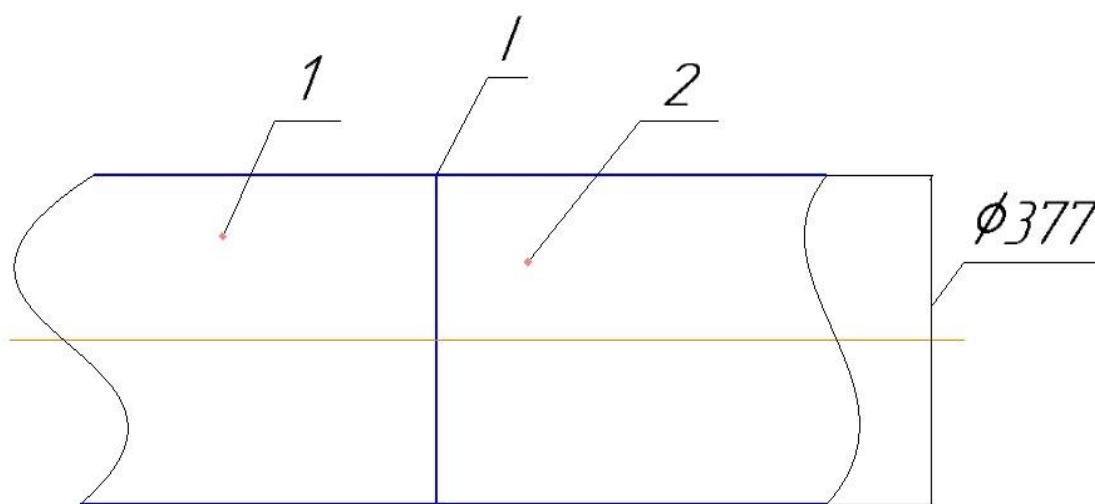


Рисунок 1 – Монтажный узел

Материал труб – теплоустойчивая сталь 15X1M1Ф. Тип разделки кромок – Тр-7 по [1].

1.2 Характеристика стали 15X1M1Ф

Сталь 15X1M1Ф относится к теплоустойчивым сталям [2], предназначенным для длительной работы в интервале температур 550 – 600⁰С.

Эти стали используются для изготовления энергетических и нефтехимических установок. В соответствии с условиями длительной работы под напряжением при высоких температурах теплоустойчивые стали должны обладать сопротивлением ползучести, длительной прочностью, стабильностью свойств во времени и жаростойкостью. Они способны сохранять механические свойства при эксплуатации до 570⁰С. Легирование хромом повышает жаростойкость сталей, т. е. сопротивление их окислению, а также предотвращает графитизацию в процессе эксплуатации при температуре выше 450⁰С. Химический состав стали 15X1M1Ф представлен в таблице 1. Хром в пределах 1,0 - 1,5% при введении его в сталь совместно с молибденом повышает, кроме того, ее длительную прочность и сопротивление ползучести. Положительное влияние молибдена на увеличение прочности стали при повышенных температурах его в количествах 0,5-1,0% объясняется способностью повышать температуру рекристаллизации железа и участием в образовании упрочняющей металл фазы Лавеса Fe₂Mo. Ванадий совместно с углеродом обеспечивает упрочнение стали высокодисперсными карбидами ванадия и способствует стабилизации карбидной фазы как элемент, обладающий значительным сродством к углероду.

Оптимальное сочетание механических свойств изделий из перлитных жаропрочных сталей достигается применением нормализации (или закалки) с последующим высокотемпературным отпуском (таблица 2). При этом обеспечивается структура, состоящая из дисперсной ферритокарбидной смеси. У хромомолибденованадиевых сталей, особенно в случае применения закалки, появляется бейнитная структурная составляющая.

Таблица 1 – Химический состав стали 15X1M1Ф [3]

Марка стали	Химический состав, %				
	C	Si	Mn	Cu	Ni
15X1M1Ф	0,10-0,15	0,17-0,37	0,40-0,70	≤0,25	≤0,25
	Cr	P	S	Mo	V
	1,10-1,40	≤0,025	≤0,025	0,90-1,10	0,20-0,35

Таблица 2 – Механические характеристики стали 15X1M1Ф [3]

Марка стали	Временное сопротивление, σ_b , Н/мм ²	Предел текучести, $\sigma_{0,2}$, Н/мм ²	Относительное удлинение, δ_5 , %	Относительное сужение, Ψ , %	Ударная вязкость, КСУ, Дж/см ²
15X1M1Ф	490-686	314	18	50	49

1.3 Технологическая свариваемость материала

Свариваемость жаропрочных перлитных сталей осложняется склонностью сварных соединений к образованию холодных трещин и разупрочнением свариваемого металла в зоне термического влияния сварки.

Холодные трещины чаще всего возникают из-за закаливаемости стали при быстром охлаждении и насыщении металла шва и зоны термического влияния водородом. Они, как правило, зарождаются по истечении некоторого времени после сварки и наплавки и развиваются в течение нескольких часов или даже суток.

Для оценки склонности металла к появлению холодных трещин чаще всего используется углеродный эквивалент [4], которым можно пользоваться как показателем, при предварительной оценке, характеризующей свариваемость основного металла. Для этой цели имеется ряд выражений. Наиболее распространенным и приемлемым для конструкционных и низколегированных сталей является:

$$C_{\text{ЭКВ.Х}} = C_{\text{ос.ме}} + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr+V}{5} + \frac{Mo}{4} + \frac{Cu+Ni}{15}, \quad (1)$$

где $C_{\text{ЭКВ.Х}}$ – химический эквивалент углерода в стали, $C_{\text{ос.ме}}$, Mn, Cr, V, Mo, Cu, Ni – содержание основных легирующих элементов в основном металле

(углерода, марганца, хрома, ванадия, молибдена, меди и никеля соответственно, %).

Рассчитаем химический эквивалент углерода в стали по формуле (1):

$$C_{\text{экв.х}} = 0,12 + \frac{0,55}{6} + \frac{1,25 + 0,28}{5} + \frac{1}{4} + \frac{0,2 + 0,19}{15} = 0,79 \%$$

Если $C_{\text{экв}} > 0,45 \%$, то необходим предварительный подогрев. Причём температура предварительного подогрева будет увеличиваться с увеличением эквивалентного содержания углерода.

Определив полный эквивалент углерода, необходимую температуру предварительного подогрева можно рассчитать по формуле:

$$T_{\text{п}} = 350 \cdot \sqrt{C_{\text{экв.х}} - 0,25}, \quad (2)$$

$$T_{\text{п}} = 350 \cdot 0,905 = 316,75 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Полученная температура предварительного подогрева должна быть проверена и откорректирована путём определения действительных скоростей охлаждения при сварке на принятых режимах и сопоставления результатов расчёта с рекомендуемым для данной марки стали диапазоном допустимых скоростей охлаждения.

1.4 Выбор способа сварки

Основными способами сварки, используемыми при изготовлении конструкций из жаропрочных перлитных сталей, являются дуговая и электроконтактная. Электроконтактная сварка используется в основном для выполнения стыковых соединений труб поверхностей нагрева котлов в заводских условиях. В подавляющем большинстве других случаев используется дуговая сварка покрытыми электродами, в защитных газах и под флюсом.

Из-за опасности образования шлаковых включений между слоями сварка в углекислом газе используется обычно для выполнения однопроходных швов и заварки дефектов литья, а также ввиду геометрических размеров разделки кромок сварного шва, использование оборудования, применяемого для сварки в среде углекислого газа недопустимо.

Автоматическую дуговую сварку под слоем флюса используют для сварки поворотных стыков трубопроводов, данный способ сварки нам не подходит, так как стыки монтируемого узла – неповоротные.

Основная область применения сварки неплавящимся электродом — соединения из легированных сталей и цветных металлов. При малых толщинах сварка может выполняться без присадки. Данный способ сварки обеспечивает хорошее качество и формирование сварных швов, позволяет точно поддерживать глубину проплавления металла.

Достоинством этого способа сварки является также то, что, манипулируя горелкой и присадочным прутом, сварщик обеспечивает качественный прогрев кромок, точно контролируя этот процесс, не допуская прожогов и непроваров. Это очень важно при сварке тонкого металла, особенно при одностороннем доступе к поверхности изделия, а также при сварке первого (корневого) прохода при сварке труб.

Также при выборе способа сварки буду руководствоваться следующими основными положениями согласно [1]:

а) стыки трубопроводов предпочтительнее сваривать комбинированным способом:

- корневую часть шва: ручной или автоматической аргонодуговой сваркой неплавящимся электродом;
- остальное сечение: ручной дуговой сваркой покрытыми электродами, при этом стык сваривают без остающегося подкладного кольца;

– если применяют сварное соединение с подкладным остающимся кольцом, весь шов (включая корневой слой) можно выполнять ручной дуговой сваркой.

Ввиду того, что, геометрические размеры разделки кромок труб толщиной 70 мм, и предварительный подогрев не позволяют применять другие виды сварки кроме ручной дуговой сварки покрытыми электродами и аргонодуговой ручной сварки. Исходя из этого выбираем комбинированный способ сварки К(РАД): корень шва будем выполнять ручной аргонодуговой сваркой с применением присадочной проволоки; заполнение и облицовка ручной дуговой сваркой покрытыми электродами с типом разделки кромок Тр-7.

1.5 Описание способов сварки

1.5.1 Ручная дуговая сварка покрытыми электродами

Для образования и поддержания сварочной дуги к электроду и свариваемому изделию от источника питания подводится постоянный или переменный ток. Если при сварке на постоянном токе положительный полюс источника питания (анод) присоединен к изделию, говорят, что сварка производится на прямой полярности. Если на изделии отрицательный полюс, полярность обратная.

Дуга расплавляет металлический стержень электрода, его покрытие и основной металл. Металлический стержень электрода в виде отдельных капель, покрытых шлаком, переходит в сварочную ванну, где электродный металл смешивается с расплавленным металлом изделия (основным металлом), а расплавленный шлак всплывает на поверхность. Размеры сварочной ванны зависят от режимов и пространственного положения сварки, конструкции сварного соединения, скорости перемещения дуги по поверхности изделия, формы и размеров разделки свариваемых кромок и т.д. Они обычно находятся в пределах: глубина до 6 мм, ширина 8...15 мм, длина

10...30 мм. Расплавляющееся покрытие электрода образует вокруг дуги и над поверхностью сварочной ванны газовую атмосферу, которая, оттесняя воздух из зоны сварки, препятствует его взаимодействию с расплавленным металлом. В газовой атмосфере присутствуют также пары основного и электродного металлов и легирующих элементов.

Основные преимущества данного способа:

- возможность сварки различного спектра металлов (углеродистые стали, цветные металлы, медь и т. д.);
- выполнимость сварки во всех пространственных положениях и в условиях монтажа;
- более дешевое оборудование;
- сравнительная простота и надежность оборудования сварки.

Основные недостатки:

- самый тяжелый способ сварки по технике выполнения;
- тяжелые условия труда сварщика;
- наличие на сварочной ванне шлака;
- многофакторность качества сварного соединения (человеческий фактор, оборудование и т. д.);
- низкая производительность способа.

1.5.2 Аргонодуговая ручная сварка неплавящимся электродом

При этом способе сварки зажигание дуги обычно осуществляется бесконтактным способом. Это объясняется двумя причинами. Во-первых, аргон обладает достаточно высоким потенциалом ионизации, поэтому ионизировать дуговой промежуток за счет искры между изделием и электродом достаточно сложно (при сварке плавящимся электродом в аргоне после того, как проволока коснется изделия, в зоне дуги появляются пары железа, которые имеют потенциал ионизации в 2,5 раза ниже, чем аргон, что позволяет зажечь дугу). Во-вторых, касание изделия вольфрамовым

электродом приводит к загрязнению и интенсивному оплавлению электрода. Поэтому при сварке неплавящимся электродом для зажигания дуги параллельно источнику питания обычно подключается осциллятор. Осциллятор подает на электрод высокочастотные высоковольтные импульсы, которые ионизируют дуговой промежуток и обеспечивают зажигание дуги после включения сварочного тока. Если сварка производится на переменном токе, осциллятор после зажигания дуги переходит в режим стабилизатора и подает импульсы на дугу в момент смены полярности, чтобы предотвратить деионизацию дугового промежутка и обеспечить устойчивое горение дуги. Поджигание дуги с помощью осциллятора называется HF Tig. У некоторых аппаратов предусмотрена программа, обеспечивающая зажигание дуги касанием, — Lift Tig. При сварке на постоянном токе на аноде и катоде выделяется неодинаковое количество тепла. При токах до 300 А, 70 % тепла выделяется на аноде и 30 % — на катоде, поэтому практически всегда используется прямая полярность, чтобы максимально проплавливать изделие и минимально разогревать электрод. Все стали и титан свариваются на прямой полярности. Алюминий обычно сваривается на переменном токе для улучшения разрушения оксидной пленки. Основная область применения сварки неплавящимся электродом — соединения из легированных сталей и цветных металлов. При малых толщинах сварка может выполняться без присадки. Данный способ сварки обеспечивает хорошее качество и формирование сварных швов, позволяет точно поддерживать глубину проплавления металла.

Основные преимущества данного способа:

- минимизацию количества дефектов в сварных швах в результате действия защитного газа;
- уменьшение деформации металла за счет небольшой зоны нагрева;
- получение аккуратных швов;
- исключение разбрызгивания металла ввиду отсутствия его капельного переноса;

- возможность работы с любыми цветными металлами, включая алюминий;
- отсутствие шлака, соответственно, нет необходимости в механической обработке швов.

Основные недостатки:

- для выполнения требуется приобретение дорогостоящего оборудования;
- этот способ соединения металлов не относится к высокопроизводительным;
- применение аргодуговой сварки на практике требует сложных настроек оборудования и высокой квалификации сварщиков.

1.6 Выбор сварочных материалов.

Выбор сварочных материалов проводится с выполнением следующих условий:

- равнопрочность сварного соединения с основным металлом;
- бездефектный сварной шов;
- оптимальный химический состав шовного металла;
- устойчивость сварных соединений при нагрузках.

1.6.1 Выбор сварочных материалов для РДС

Для ручной дуговой сварки жаропрочных перлитных сталей используются электроды с основным (фтористо-кальциевым) покрытием, изготовленные на малоуглеродистой сварочной проволоке с введением легирующих элементов через покрытие. Основной тип покрытия обеспечивает повышенную раскисленность металла шва при малом содержании в нем водорода и неметаллических дисперсных включений, а также достаточно надежную газовую защиту плавящегося металла от азота воздуха. Это позволяет получить сочетание высоких прочностных и пластических свойств швов. Однако для электродов с покрытием этого типа характерна повышенная склонность к образованию пор в швах при

удлинении дуги, наличии ржавчины на поверхности свариваемых кромок и небольшом увлажнении покрытия. В связи с этим рекомендуются сварка предельно короткой дугой, тщательная очистка свариваемых поверхностей и сушка электрода перед их применением.

Сварка осуществляется на постоянном токе обратной полярности. Сила сварочного тока выбирается в зависимости от диаметра электрода и положения шва в пространстве. Сварка осуществляется узкими валиками без поперечных колебаний электрода с тщательной заваркой кратера перед обрывом дуги.

Для сварки хромомолибденованадиевой стали 15X1M1Ф, согласно ГОСТ 9467-75 [5] выберем электроды типа Э-09X1MФ.

Химический состав металла, наплавленного электродами для сварки легированных теплоустойчивых сталей, а также механические свойства наплавленного металла или металла шва должны соответствовать нормам, приведенным в таблице 3.

Таблица 3 – Химический состав наплавленного металла согласно ГОСТ 9467-75

Тип электрода	Химический состав наплавленного металла, %				Механические свойства металла шва или наплавленного металла при нормальной температуре		
	C	Si	Mn	Cr	Временное сопротивление разрыву σ_B , кгс/мм	Относительное удлинение δ_5 , %	Ударная вязкость α_n , кгс·м/см
Э-09X1MФ	0,06-0,12	0,15-0,40	0,50-0,90	0,80-1,25	Не менее		
	Mo	V	S	P	50	16	8
	0,40-0,70	0,10-0,30	≤0,025	≤0,030			

Согласно [1], по типу электрода выбираем марку электрода ТМЛ-3У, предназначенные для сварки паропроводов из стали марки 15Х1М1Ф, работающих при температуре до 570°С. Механические свойства и химический состав металла шва сведены в таблицы 4 и 5 соответственно. Сварка электродами ТМЛ-3У во всех пространственных положениях шва постоянным током обратной полярности.

Таблица 4 – Механические свойства металла шва после термообработки, электродов сварочных ТМЛ-3У [5]

Временное сопротивление σ_b , МПа	Предел текучести σ_t , МПа ТМЛ-3У	Относительное удлинение ϵ_5 , %	Ударная вязкость a_n , Дж/см ² , ТМЛ-3У
570	480	20	180

Таблица 5 – Химический состав наплавленного металла, электродов сварочных ТМЛ-3У, % [5]

Химический элемент	С	Mn	Si	Mo	Cr	V	S	P
Содержание хим.э-та в наплавленном металле	0,080	0,750	0,250	0,500	0,900	0,180	0,020	0,023

1.6.2 Характеристика сварочных электродов ТМЛ-3У

Покрытие электродов ТМЛ-3У – основное.

Коэффициент наплавки электродов – 9,5 г/А·ч.

Производительность наплавки ТМЛ-3У (для диаметра 4,0 мм) – 1,4 кг/ч.

Расход электродов сварочных ТМЛ-3У на 1кг наплавленного металла – 1,5 кг.

1.6.3 Выбор сварочных материалов для аргодуговой сварки неплавящимся электродом

Согласно рекомендациям [2] выполнение корневого слоя шва при сварке хромомолибденованадиевых сталей выполняем с применением сварочной проволоки Св-08ХГСМФА по ГОСТ 2246-70 [6], химический состав которой, указан в таблице 6.

Таблица 6 – Химический состав сварочной проволоки Св-08ХГСМФА

Марка проволоки	Углерод	Кремний	Марганец	Хром	Никель
Св-08ХГСМФА	0,06-0,10	0,45-0,70	1,20-1,50	0,95-1,25	Не более 0,300
	Молибден	Титан	Сера Не более	Фосфор Не более	Прочие элементы Ванадий
	0,50-0,70	-	0,025	0,025	0,20-0,35

В качестве защитного газа при ручной и автоматической аргонодуговой сварке неплавящимся электродом применяем аргон высшего и первого сортов с физико-химическими показателями по ГОСТ 10157-2016 [7]. Допускается использовать газообразный и жидкий аргон.

По физико-химическим показателям газообразный и жидкий аргон должен соответствовать нормам, указанным в таблице 7.

Таблица 7 – Физико-химические показатели газообразного и жидкого аргона

Наименование показателя	Норма	
	Высший сорт	Первый сорт
1 Объемная доля аргона, %, не менее	99,993	99,987
2 Объемная доля кислорода, %, не более	0,0007	0,002
3 Объемная доля азота, %, не более	0,005	0,01
4 Объемная доля водяных паров, %, не более, что соответствует температуре насыщения аргона водяными парами при давлении 101,3 кПа (760 мм рт.ст.), °С, не выше	0,0009 Минус 61	0,001 Минус 58
5 Объемная доля суммы углеродсодержащих соединений в пересчете на CO ₂ , %, не более	0,0005	0,001

Для ручной аргонодуговой сварки в качестве неплавящегося электрода применяем вольфрамовые электроды из вольфрама с присадкой окиси лантана марки ЭВЛ, диаметром 2 мм и длиной 150 мм по ГОСТ 23949-80 [8]. Это универсальные электроды, которые выдерживают высокие токовые нагрузки, улучшают стабильность горения дуги и легкость

запуска при одновременном снижении выгорания. Также лантановые электроды меньше загрязняют шов вольфрамом.

Согласно рекомендациям [2] для вольфрамового электрода диаметром 2,0 мм выбираем сварочный ток равный 90-110 А, напряжение дуги – 11,0-13,0 В; расход аргона 8,0-12,0 л/мин. Присадочная проволока диаметром 1,6 мм.

2 Материалы и методы исследования

2.1 Подготовка деталей к сварке

На всех поступающих на монтажную площадку блоках, трубах и деталях до начала сборки мастером (или другим ответственным лицом) должно быть проверено наличие клейм, маркировки, а также сертификатов завода-изготовителя, подтверждающих соответствие блоков, труб и деталей их назначению. При отсутствии клейм, маркировки или сертификатов блоки, трубы и детали к дальнейшей обработке не допускаются.

При подготовке стыковых соединений труб для сварки необходимо проверить их соответствие чертежам и требованиям НТД. Отклонение плоскости реза от угольника (размер «е» на рисунке 2) должно быть не выше следующих значений изложенных в ОСТ 24.125.60-89 [9] согласно таблице 8.

Таблица 8 - Бесшовные трубы

Номинальный наружный диаметр трубы, мм	377
Допускаемый перекося плоскости «е», мм	3,0

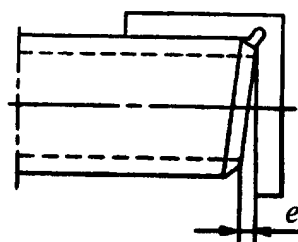


Рисунок 2 - Схема проверки перпендикулярности торцов труб

Следует также проверить:

- соответствие формы, размеров и качества подготовки кромок (в том числе расточки под заданный внутренний диаметр, разделки для угловых и тавровых соединений) предъявляемым требованиям (обработку фасок под сварку и размеры кромок проверяют специальными шаблонами);

- качество зачистки наружной и внутренней поверхностей концов труб;
- правильность выполнения переходов от одного сечения к другому на концах труб;
- соответствие минимальной фактической толщины стенки подготовленных под сварку концов труб установленным допускам (под заданный внутренний диаметр, зачистки наружной и внутренней поверхностей и после калибровки).

Обработку кромок труб под сварку следует производить механическим способом (резцом, фрезой или абразивным кругом) с помощью труборезного станка либо ручной шлифовальной машинкой.

Подготовленные к сборке кромки должны быть без вырывов, заусенцев, резких переходов и острых углов.

Все местные уступы и неровности, имеющиеся на кромках собираемых труб и препятствующие их соединению, следует до сборки устранить с помощью абразивного круга или напильника, не допуская острых углов и резких переходов.

При резке труб наружным диаметром более 76 мм на оставшейся ее части (которая в данный момент не идет в работу) должна быть сохранена маркировка завода-изготовителя или нанесены вновь несмываемой краской марка стали, номер плавки и размер трубы.

2.1 Сборка стыков труб

Перед сваркой, как правило, стоит задача сборки конструкции, то есть установление и фиксация деталей в предусмотренном проектом положении. Сборка под сварку является одной из трудоемких операций. Она должна обеспечивать возможность качественной сварки конструкции. Для этого необходимо выдержать заданный зазор между соединяемыми деталями, установить детали в проектное положение и закрепить между собой так, чтобы взаиморасположение деталей не нарушилось в процессе сварки и

кантовки, а если необходимо, и транспортировки. Должен быть обеспечен свободный доступ к месту сварки.

Сборку стыка труб будем производить согласно рекомендациям [1]. Будем использовать тип разделки кромок Тр-7 – согласно схеме и размерам, указанным в таблице 9:

Таблица 9 - Конструкция сварного стыка соединений труб

Тип разделки	Конструктивные элементы подготовленных кромок свариваемых деталей	Конструктивные размеры				Наружный диаметр трубы, D_n , мм
		S, мм	a, мм	b, мм	α , градусы	
Тр-7		70	$\leq 0,5(1,5^{\pm 0,5})$	$3^{\pm 0,2}$	$15^{\pm 2}$	377

При сборке стыков труб под сварку следует пользоваться центровочными приспособлениями, предпочтительно инвентарными, не привариваемыми к трубам.

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 и не менее 10 мм с внутренней стороны детали.

Прямолинейность труб в месте стыка (отсутствие переломов) и смещение кромок проверяют линейкой длиной 400 мм, прикладывая ее в трех-четыре местах по окружности стыка. В правильно собранном стыке максимально допустимый просвет между концом линейки и поверхностью

трубы должен быть не более 1,5 мм на расстоянии 200 мм от стыка, в сваренном стыке — не более 3 мм.

При сборке стыка необходимо предусмотреть возможность свободной усадки металла шва в процессе сварки; не допускается выполнять сборку стыка с натягом.

За качество сборки стыков отвечает производитель сборочных работ (мастер, бригадир, звеньевой). Перед прихваткой и началом сварки качество сборки стыка должен проверить сварщик.

При контроле качества сборки стыков паропроводов с рабочей температурой 450°C и выше необходимо проверить наличие заводских номеров (номер плавки и номер трубы) в маркировке труб.

2.3 Выполнение прихваток

Собранный стык труб необходимо прихватывать ручной аргонодуговой сваркой в нескольких местах. Для стыка труб равному 1,5 мм применяется присадочная проволока диаметром 1,6 мм марки Св-08Г2С, независимо от марки стали.

Прихватку должен производить сварщик, допущенный к сварке стыков труб соответствующей марки стали, по возможности тот, который будет сваривать данный стык.

Прихватки необходимо выполнять с полным проваром и по возможности переваривать при наложении основного шва.

К качеству прихваток предъявляются такие же требования, как и к сварному шву. Прихватки, имеющие недопустимые дефекты, обнаруженные при визуальном контроле, следует удалять механическим способом.

Прихваточные швы должны быть равномерно расположены по периметру стыка. Не рекомендуется накладывать прихватки на потолочный участок стыка.

Число прихваток и их протяженность зависят от диаметра труб и должны соответствовать следующим нормам, изложенным в таблице 10.

Таблица 10 - Зависимость числа прихваток от диаметра трубы

Диаметр трубы, мм	377
Число прихваток по периметру	3-4
Протяженность одной прихватки, мм	30-40

При выполнении прихваток ручной аргонодуговой сваркой с применением присадочной проволоки на стыках труб с разделкой Тр-7 — высота прихватки должна соответствовать величине $b \pm 1,0-1,5$ мм (b — размер притупления).

2.4 Подогрев стыков при прихватке и сварке

Стыки труб из стали 15Х1М1Ф диаметром 377 мм и толщине стенки 70 мм следует нагревать индуктором (током промышленной или средней частоты) до температуры 300-350°C. Подогрев этих стыков должен быть организован так, чтобы сразу после окончания сварки можно было произвести их термообработку.

Температуру подогрева можно контролировать с помощью термопар (ТП), цифровых контактных термометров (ТК-3М, ТК-5 и др.), пирометров, термокарандашей, термокрасок, бесконтактными лазерными термометрами до 1000°C.

2.5 Технология сварки стыков труб

Сварку стыков труб начинаем сразу после выполнения прихваток. Аргонодуговую сварку корневого слоя шва осуществляем в инвентарном сборочном приспособлении. Корневой слой (1-3 проходы) выполняем с применением присадочной проволоки Св-08ХГСМФА диаметром 1,6 мм. Толщина корневого слоя, во избежание его прожога при наложении основного шва, должна быть не менее 5,0 мм.

Промежуток времени между окончанием выполнения прихваток и началом сварки стыков труб из стали 15Х1М1Ф, должен быть не более 4 ч.

Непосредственно перед сваркой необходимо проверить состояние поверхности стыка и в случае необходимости зачистить его. Стыки труб следует сваривать без перерыва.

При вынужденных перерывах в работе (авария, отключение тока) необходимо обеспечить медленное и равномерное охлаждение стыка любыми доступными средствами (например, обкладкой негорючими теплоизоляционными материалами), а при возобновлении сварки следует подогреть стык (если это требуется) до соответствующей температуры. Эту температуру нужно поддерживать до окончания сварки.

Не допускается никаких силовых воздействий на стык до завершения его сварки и проведения термообработки, если таковая необходима.

Во время выполнения заполняющего шва необходимо разбивать шов на участки с таким расчетом, чтобы стыки участков («замки» швов) в соседних слоях не совпадали, а были смещены один относительно другого, и каждый последующий участок перекрывал предыдущий. Размер смещения и перекрытия «а» (рисунок 3) при ручной дуговой сварке от 12 до 18 мм.

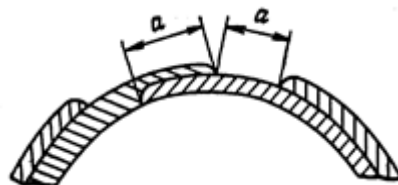


Рисунок 3 - Схема наложения «замков» швов [1]

Ручную дуговую сварку покрытыми электродами 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 от 20 до 25 мм от кратера.

При ручной дуговой сварке во избежание зашлаковки металла шва около кромок труб следует наплавлять, возможно, более плоский валик.

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.

Для придания сварному соединению надлежащего внешнего вида верхние слои шва следует выполнять по специальной технологии.

Основной шов должен заполнять разделку не до краев, а оставив по всему периметру стыка место для наложения облицовочного слоя (рисунок 4). Остаточная глубина «а», зависит от диаметра электрода, которым будет выполняться облицовочный слой. Согласно данным таблицы 11:

Таблица 11 - Зависимость остаточной глубины «а» от диаметра электрода

Диаметр электрода, мм	4,0
Остаточная глубина «а», мм	2,0-2,5

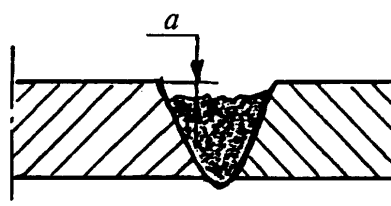


Рисунок 4 - Остаточная глубина для наложения облицовочного слоя [1]

Сварка в потолочном и вертикальном положении должна производиться электродами диаметром не более 3 мм.

Электроды для сварки облицовочного слоя должны быть той же марки, которой выполнялся основной шов.

На вертикальных стыках ширина облицовочного валика « b » (рисунок 5) не должна быть более 16 мм для низколегированных сталей.

Выпуклость (усиление) шва h должно составлять для труб с толщиной стенки 70 мм не более 4 мм; минимальный размер усиления — 0,5 мм [1].

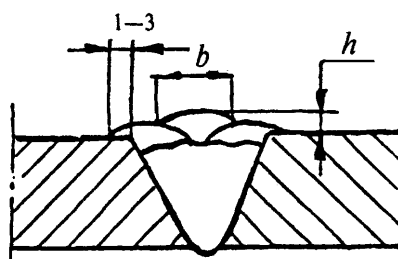


Рисунок 5 - Размеры облицовочного слоя

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

- иметь равномерную чешуйчатость с размером чешуек от 1 до 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 пределах, указанных выше;
- перекрытие крайними валиками кромок труб должно быть от 1 до 3 мм.

Во время сварки труб из стали марки 15X1M1Ф, следует заглушать концы труб или закрывать задвижки на трубопроводе.

Неповоротный вертикальный стык трубы диаметром 377 мм должны сваривать одновременно два сварщика. В этом случае должны быть приняты меры для защиты каждого сварщика от брызг расплавленного металла и шлака.

При сварке стали 15Х1М1Ф, одновременно несколькими сварщиками, необходимо следить за тем, чтобы основной металл труб в месте стыка нагревался не выше 450 °С.

Наложение валиков первого слоя, если сварку вертикального неповоротного стыка труб диаметром 377 мм выполняют два сварщика, производится в следующем порядке согласно (рисунок 6): 1-й сварщик начинает сварку от точки А и ведет к точке Б, в это время 2-й сварщик сваривает участок от точки Г до точки В; далее 1-й сварщик (без перерыва) продолжает сварку от точки Б до точки В, а 2-й переходит к сварке участка от точки А к точке Г.

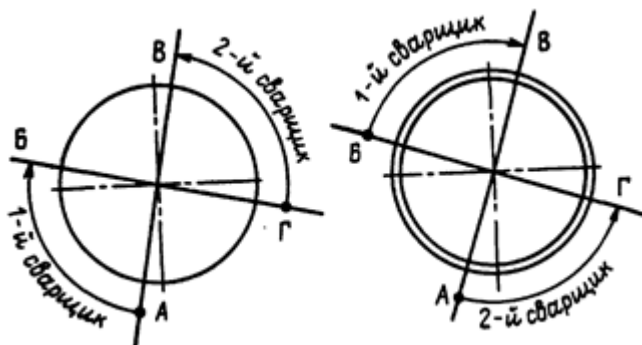


Рисунок 6 - Порядок наложения первого слоя шва при сварке двумя сварщиками вертикальных неповоротных стыков труб диаметром 377 мм

2.6 Термообработка сварных соединений труб

Для предварительного и сопутствующего подогрева, а также для последующей термической обработки будем использовать установку индукционного нагрева ЭЛТЕРМ-С УИНТ-100-2,4.

Установки ЭЛТЕРМ-С УИНТ-100-2,4 обеспечивает автоматическое поддержание заданных режимов термообработки, имеет встроенный самопишущий прибор для измерения и регистрации температуры нагреваемой части трубопровода, совмещены с транспортной тележкой, укомплектованы входными и выходными кабелями, блоком

компенсирующих конденсаторов и проводом для индуктора. Технические характеристики УИИТ-100-2,4 указаны в таблице 12.

Таблица 12 - Технические характеристики ЭЛТЕРМ-С УИИТ-100-2,4

Технические характеристики	ЭЛТЕРМ-С УИИТ 100-2,4
Максимальная мощность, кВт	100
Номинальная выходная частота, кГц	2,4
Охлаждение	воздушное
Коэффициент полезного действия, %	93
Габаритные размеры, мм	1640x990x1755
Вес, кг	1000
Пределы задания режимов термообработки	
Температура, °С	840
Интервалы времени выдержки, час	1,2,3,4,5
Скорость набора температуры, °С/час	50,10,150,200,250
Скорость снижения температуры, °С/час	50,10,150,200,250
Максимальный диаметр трубопровода, мм	1420

Термообработка сварных соединений труб производится индукционным способом токами средней (до 8000 Гц) частоты.

Стыки труб из стали 15Х1М1Ф (соответственно и из литых деталей) при толщине стенки 70 мм, необходимо подвергать термообработке сразу после окончания сварки, не допуская охлаждения стыка ниже 316°С. Если по техническим причинам (прекращение электропитания, повреждение оборудования, необходимость перестановки индуктора и т.п.) невозможно провести термообработку этих сварных соединений непосредственно после сварки, необходимо медленно охладить стык под слоем тепловой изоляции толщиной от 8 до 15 мм. При восстановлении электрического питания стык следует сразу подвергнуть термообработке. Во всех остальных случаях

термообработку нужно производить не позднее чем через 3 суток после окончания сварки.

До термообработки подвергать сварные соединения воздействию нагрузок, снимать блоки с опор, кантовать, транспортировать и т.п. запрещается.

Перед термообработкой трубопровода, расположенного горизонтально, необходимо подвесить за тали на расстоянии не более 1 м по обе стороны от сварного соединения.

Термическая обработка стыковых сварных соединений труб котлов и трубопроводов должна выполняться по режимам, приведенным в таблице 13.

Таблица 13 - Режимы термообработки стыковых сварных соединений трубных элементов

Свариваемая сталь	Металл шва	Толщина элемента, мм	Режим термической обработки	
			температура, °С	длительность выдержки, ч,
15X1M1Ф	09X1MФ	70	720-750	5

Общая ширина зоны равномерного нагрева (т.е. участка трубы со швом посередине, на поверхности которого температура не выходит за пределы) должна быть не менее $1,3\sqrt{(D_n - S) \cdot S}$, но не менее $4S$ (D_n — наружный диаметр трубы, S — номинальная толщина стенки трубы). В нашем случае при толщине стенки трубы 70 мм, ширина зоны равномерного нагрева будет не меньше $4S$, т.е.:

$$B = 4 \cdot S = 4 \cdot 70 = 280 \text{ мм.} \quad (3)$$

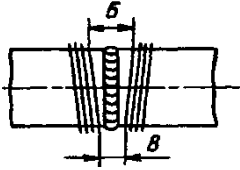
В интервале температур 500—700 °С скорость нагрева сварных соединений труб из стали 15X1M1Ф должна быть не ниже 100 °С/ч.

Для выравнивания температуры по окружности вертикального стыка можно использовать следующие способы:

- создать тепловую изоляцию различной толщины по окружности стыка — в нижней части толще, чем в верхней (при изоляции листовым асбестом верхняя половина стыка изолируется обычно двумя слоями, нижняя — тремя);
- установить индуктор так, чтобы расстояние между витками (или между секциями двухсекционного индуктора) в зоне стыка на верхнем участке было на 10—50 мм больше, чем на нижнем.

Рекомендуемое расположение гибких индукторов на вертикальных и горизонтальных стыках труб в зависимости от диаметра показано в таблице 14.

Таблица 14 - Расположение гибких неохлаждаемых индукторов на вертикальных и горизонтальных стыках труб

Положение стыка	Диаметр трубы, мм	Схемы расположения индуктора	Расстояние, мм	
			<i>B</i>	<i>B</i>
Вертикальное	377		50-55	35

Индуктор для подогрева стыка перед сваркой и для последующей термообработки нужно устанавливать на трубу в следующей последовательности:

1. закрепить (приварить) бобышки для установки горячих спаев термоэлектрических преобразователей (ТП);
2. на трубу в районе сварного шва наложить тепловую изоляцию;
3. намотать индуктор на трубу;
4. закрепить горячие спаи ТП в приваренные бобышки (предварительно надрезав теплоизоляцию в месте установки бобышки) и подключить провода ТП к регистрирующему прибору;

5. присоединить к выводам индуктора токопроводящие провода от источника питания;
6. подключить конденсаторную батарею (при нагреве током средней частоты);
7. включить источник питания и провести нагрев по заданному режиму.

3 Расчеты и результаты исследования

3.1 Расчет режимов сварки РДС

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

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

Поскольку конкретную марку электрода выбирают исходя из свойств основного металла, то такие параметры режима сварки, как род тока, полярность, коэффициент наплавки, находят по справочным или паспортным данным покрытых электродов.

Определение и расчёт остальных параметров режима сварки обычно начинают с выбора диаметра электрода, так как он в значительной мере определяет другие параметры.

3.1.1 Выбор диаметра электрода

Заполнение и выполнение облицовочного слоя шва будет выполняться при помощи ручной дуговой сварки покрытым плавящимся электродом. При выполнении заполнения назначают практически максимальный сварочный ток для выбранного пространственного положения, чтобы обеспечить максимальную производительность сварочных работ.

Для сварки во всех пространственных положениях будем использовать электроды диаметром не более 4,0 мм.

3.1.2 Определение сварочного тока

Расчёт силы сварочного тока при сварке покрытыми электродами производится по диаметру электрода и допустимой плотности тока (таблица 15):

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

где d_s – диаметр электродного стержня, мм;

j – допустимая плотность тока, А/мм².

Допустимую плотность тока выберем согласно таблице 15.

Таблица 15 – Допустимая плотность тока j , А/мм², при ручной дуговой сварке покрытыми электродами

Вид покрытия	Диаметр стержня электрода, мм
	4,0
Основное	10,0...14,5

Для заполняющего и облицовочного слоя:

$$I_{\text{св}} = \frac{3,14 \cdot 16}{4} \cdot 10 = 125,6 \text{ А},$$

$$I_{\text{св}} = \frac{3,14 \cdot 16}{4} \cdot 14,5 = 182,12 \text{ А}.$$

Для электродов диаметром 4 мм, сварочный ток назначаем в пределах 120-180 А.

При недостаточной величине тока, дуга горит неустойчиво и не обеспечивает стабильного плавления электродного и основного металла. При большом сварочном токе электрод плавится слишком интенсивно, возрастают потери на разбрызгивание и угар, ухудшаются устойчивость дуги и качество формирования шва, обеспечиваются высокие значения погонной энергии и, как следствие, увеличение тепловложения, что не всегда желательно. Скорость плавления электрода в начале и в конце процесса отличается более чем на 30 %.

Для приближённых расчётов сварочный ток может быть определён по эмпирической формуле:

$$I_{\text{св}} = k \cdot d_{\text{э}}, \quad (5)$$

где k – коэффициент, принимаемый в зависимости от диаметра стержня электрода (таблица 16).

Таблица 16 – Зависимость коэффициента k от диаметра стержня электрода

Диаметр стержня электрода, мм	3,0...4,0
Коэффициент – k , А/мм	30,0...45,0

Для электродов диаметром 4,0 мм:

$$I_{\text{св}} = 30 \cdot 4,0 = 120 \text{ А},$$

$$I_{\text{св}} = 45 \cdot 4,0 = 180 \text{ А}.$$

При сварке в положениях, отличных от нижнего, с целью улучшения формирования шва, сварочный ток уменьшают по сравнению с расчётным на 10...20%. Причём для сварки в потолочном положении вводится коэффициент 0,9. Для соединений, выполненных в вертикальном и горизонтальном положении, вводится коэффициент 0,8.

В любом случае рассчитанное значение сварочного тока не должно выходить за пределы рекомендуемых значений тока для конкретной марки и диаметра электрода при выбранном пространственном положении, что указывается в паспорте на электроды.

3.1.3 Напряжение на дуге

Для приближенного расчета напряжения на дуге можно пользоваться выражением:

$$U_{\text{д}} = 20 + 0,04 \cdot I_{\text{св}}. \quad (6)$$

Для электродов диаметром 4,0 мм:

$$U_{\text{д}} = 20 + 0,04 \cdot 120 = 24,8 \text{ В},$$

$$U_d = 20 + 0,04 \cdot 180 = 27,2 \text{ В.}$$

Недостатком формулы считают то, что данная методика не учитывает ни типа, ни толщины электродного покрытия, ни длины дуги во время сварки, которая может находиться в пределах $0,5d_э \leq l_д \leq 1,5d_э$.

Можно считать, что значение напряжения на дуге, рассчитанное по формуле (6), относится к электродам с кислым и рутиловым покрытием; для электродов с основным покрытием значения дуги целесообразно повысить до 5 %.

Принимаем напряжение на дуге для электродов диаметром 4,0 мм – $U_д = 26 \div 28,5 \text{ В}$.

3.1.4 Определение числа проходов

При определении числа проходов (в дальнейшем все расчётные числа проходов, площади сечения металла шва будут рассматриваться только для наплавленного металла) следует иметь в виду, что сечение первого прохода не должно превышать от 30 до 35 мм², а последующих от 30 до 40 мм².

При слишком большом слое наплавленного металла (сечение шва более 40 мм²), т. е. при заниженной скорости сварки, жидкий металл натекает на опорное пятно дуги, ухудшая условия передачи тепла основному металлу. В результате этого эффективность проплавления металла снижается, что вызывает непровары и неудовлетворительное формирование шва (формирование шлаковых и газовых включений). Чрезмерное увеличение скорости сварки также вызывает неудовлетворительное формирование шва, образование несплавлений и непроваров, что обусловлено уменьшением погонной энергии (количества тепла, приходящего на единицу длины шва).

При сварке швов стыковых соединений площадь поперечного сечения металла, наплаваемого за один проход, при которой обеспечиваются оптимальные условия формирования, должна составлять не более, мм²:

– для первого прохода (при сварке корня шва)

$$F_1 = (6 \dots 8) \cdot d_э; \tag{7}$$

– для последующих проходов

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

Для определения числа проходов при сварке швов стыковых соединений с разделкой кромок необходимо рассчитать общую площадь поперечного сечения наплавленного металла (рисунок 7).

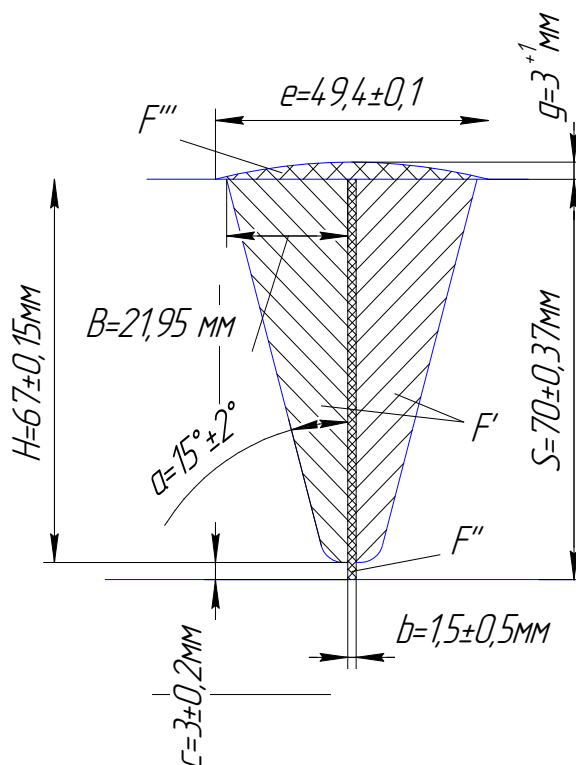


Рисунок 7 – Схема общей площади поперечного сечения сварного шва

Размеры сварного шва уточняются по стандартам и берутся номинальные значения (рисунок 7). Площадь наплавки обычно находят как сумму площадей элементарных геометрических фигур:

$$F_{\text{H}} = 2 \cdot F' + F'' + F''', \quad (9)$$

$$F_{\text{H}} = 2 \cdot (H \cdot B / 2) + b \cdot S + 0,75 \cdot g \cdot e, \quad (10)$$

$$F_{\text{H}} = 2 \cdot ((21,95 \cdot 67) / 2) + 1,5 \cdot 70 + 0,75 \cdot 3 \cdot 49,4 = 1470 + 105 + 111 = 1686 \text{ мм}^2.$$

Зная общую площадь поперечного сечения наплавленного металла и площади поперечного сечения наплавленного металла при первом и каждом

последующем проходах (7) и (8), найдем необходимое число проходов для обеспечения заданной геометрии шва:

$$n = \frac{F_H - F_1}{F_{\Pi}} + 1, \quad (11)$$

$$n = \frac{1686 - 6 \cdot 4}{12 \cdot 4} + 1 = 36 \text{ прохода.}$$

3.1.5 Определение скорости сварки

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

$$V_{\text{СВ}} = \frac{\alpha_n \cdot I_{\text{СВ}}}{3600 \cdot \gamma \cdot F_H}, \quad (12)$$

где α_n – коэффициент наплавки, выбранного электрода, находится по каталогам на сварочные материалы, г/(А·ч);

$I_{\text{СВ}}$ – принятое значение сварочного тока, А;

F_H – площадь поперечного сечения наплавленного металла за данный проход, см²;

γ – плотность наплавленного металла за данный проход, г/см³.

Для заполняющих проходов:

$$V_{\text{СВ}} = \frac{9,5 \cdot 180}{3600 \cdot 7,8 \cdot 16,86} = 0,36 \frac{\text{см}}{\text{с}}.$$

3.1.6 Определение погонной энергии

Для дальнейших вычислений требуется расчёт погонной энергии при сварке, выполняемый по формуле (12). Значение погонной энергии определяет количество энергии, вводимое в единицу длины шва (Дж·с/см):

$$q_{\Pi} = \frac{q_{\text{ЭФ}}}{V_{\text{СВ}}} = \frac{I_{\text{СВ}} \cdot U_{\text{Д}} \cdot n_{\Pi}}{V_{\text{СВ}}}, \quad (13)$$

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

$I_{св}$ – ток сварочной дуги, А;

$U_{д}$ – напряжений на дуге, В;

η_u – эффективный КПД нагрева изделия дугой, для сварки покрытыми электродами на постоянном токе от 0,75 до 0,85;

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

Для заполняющих проходов:

$$q_{п} = \frac{180 \cdot 28,56 \cdot 0,75}{0,36} = 10710 \frac{\text{Дж}}{\text{см}}.$$

3.1.7 Определение количества участия основного металла в металле шва

Определим долю участия основного металла в металле шва. Для этого можно сделать допущение, что фактическая форма шва, без учета усиления, представляет собой полуэллипс (рисунок 8).

Площадь полуэллипса:

$$F = \frac{\pi \cdot R \cdot r}{2}, \quad (14)$$

где R , r - полуоси эллипса.

Площадь полуэллипса без учета усиления будет равна:

$$F = \frac{3,14 \cdot 70 \cdot 24,7}{2} = 2714,5 \text{ мм}^2.$$

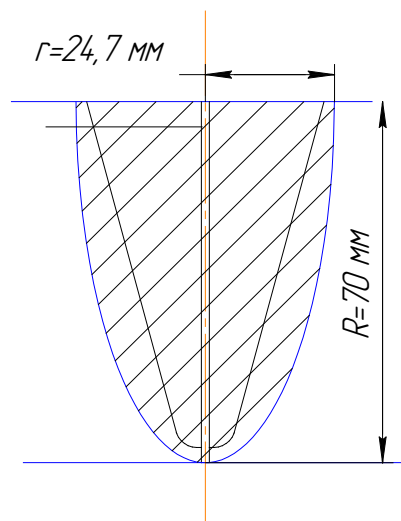


Рисунок 8 – Схема к определению площади полуэллипса

- площадь наплавки равна с учетом усиления 1686 мм²;
- площадь наплавки равна без учета усиления 1575 мм²;
- площадь проплавления равна 2714,5-1575 = 1139,5 мм².

Доля участия основного металла в металле шва будет равна:

$$\gamma_0 = \frac{F_{np}}{F_n + F_{np}}, \quad (15)$$

где F_{np} – площадь проплавления;

F_n – площадь наплавки.

$$\gamma_0 = \frac{2714,5}{2714,5+1575} = 0,633 .$$

Доля участия основного металла в металле шва составляет 63,3%. Это означает что, сварочный шов на 63,3% состоит из основного металла, остальные 36,7% металла поступают с электродным металлом.

3.1.8 Расчетная оценка ожидаемого химического состава металла шва

Химический состав металла шва влияет прежде всего на его структуру и механические свойства, от него зависят технологическая и эксплуатационная прочность шва. Химический состав металла шва определяется составом основного и электродного металлов и долей их участия в металле шва, а значит способом и режимом сварки.

Поэтому при оценке режима сварки по структурным критериям может возникнуть необходимость его корректировки.

Состав металла шва в пределах одного слоя является полностью однородным. Поэтому в расчётах химического состава слоя или шва учитывается доля участия основного металла шва:

$$[R]_{ш} = [R]_{ом} \cdot \gamma_0 + (1 - \gamma_0) \cdot [R]_э \pm \Delta R, \quad (16)$$

где $[R]_{ш}$ – содержание элемента в шве или проходе, %;

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

$[R]_{\text{э}}$ – содержание элемента в электродной проволоке или наплавленном металле покрытыми электродами;

$\pm\Delta R$ – изменение содержания элемента в процессе сварки в результате его выгорания из сварочной ванны или перехода из флюса, или электродного покрытия в сварной шов;

γ_0 – доля участия основного металла в металле шва;

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

$$[C]: R_{\text{ш}} = 0,1 \cdot 0,633 + (1 - 0,633) \cdot 0,08 = 0,0927\%;$$

$$[Cr]: R_{\text{ш}} = 1,2 \cdot 0,633 + 0,367 \cdot 0,9 = 1,0899\%;$$

$$[Mn]: R_{\text{ш}} = 0,5 \cdot 0,633 + 0,367 \cdot 0,75 = 0,59\%;$$

$$[Si]: R_{\text{ш}} = 0,25 \cdot 0,633 + 0,367 \cdot 0,25 = 0,25\%;$$

$$[Ni]: R_{\text{ш}} = 0,2 \cdot 0,633 = 0,127\%;$$

$$[Cu]: R_{\text{ш}} = 0,2 \cdot 0,633 = 0,127\%;$$

$$[Mo]: R_{\text{ш}} = 1 \cdot 0,633 + 0,367 \cdot 0,5 = 0,8165\%;$$

$$[V]: R_{\text{ш}} = 0,3 \cdot 0,633 + 0,367 \cdot 0,18 = 0,26\%;$$

$$[S]: R_{\text{ш}} = 0,015 \cdot 0,633 + 0,367 \cdot 0,02 = 0,017\%;$$

$$[P]: R_{\text{ш}} = 0,015 \cdot 0,633 + 0,367 \cdot 0,023 = 0,018\%.$$

3.1.9 Расход сварочных материалов

Расход сварочных материалов определяется количеством наплавленного металла, который напрямую зависит от типа сварного соединения и геометрических размеров сварного шва. Для расчёта требуемого количества сварочных материалов необходимо знать площадь наплавленного металла, длину провариваемого участка и плотность наплавленного металла. Зная перечисленные величины, можно определить массу наплавленного металла.

Расход электродов для ручной дуговой сварки определяется по формуле (17):

$$G_э = G_н \cdot (1,6-1,8), \quad (17)$$

где $G_э$ – масса электродов;

$G_н$ - масса наплавленного металла.

$$G_н = \gamma \cdot F_н \cdot l_{шв} , \quad (18)$$

где $F_н$ – площадь наплавки;

$l_{шв}$ – длина шва или провариваемого участка;

$\gamma_н$ – плотность наплавленного металла.

$$G_н = 7,8 \cdot 14,86 \cdot 118,378 = 13721 \text{ г.}$$

Масса электродов:

$$G_э = 1,7 \cdot 13721 = 23326 \text{ г.}$$

Расход электродов - 23326 г на 1183,78 мм шва.

3.1.10 Выбор источника питания

Источник питания сварочной дуги должен отвечать следующим требованиям:

- обеспечивать необходимую для данного технологического процесса силу сварочного тока и напряжение дуги;
- иметь необходимый вид внешней характеристики, чтобы выполнять условия стабильного горения дуги;
- иметь такие динамические параметры, чтобы можно было обеспечить нормальное возбуждение дуги и минимальный коэффициент разбрызгивания.

Выбираем универсальный источник питания Сварог REAL TIG 250, который предназначен для аргонодуговой сварки TIG, TIG COLD и ручной дуговой сварки (ММА) на постоянном токе (DC) покрытыми электродами. Технические характеристики сварочного источника питания представлены в таблице 17.

Таблица 17 - Технические характеристики сварочного аппарата Сварог REAL TIG 250

Параметры	Значения
Напряжение питающей сети:	380±15%
Частота питающей сети:	50 Гц
Потребляемая мощность TIG:	6.1 кВА
Потребляемая мощность MMA:	7.3 кВА
Потребляемый ток:	11.2 А
Сварочный ток TIG:	10–250 А
Сварочный ток MMA:	20–210 А
Рабочее напряжение TIG:	10.4–20.0 В
Рабочее напряжение MMA:	20.8–28.4 В
ПН (40°C):	60%
Сварочный ток TIG (ПН 100%):	200 А
Сварочный ток MMA (ПН 100%):	190 А
Напряжение холостого хода TIG:	60 В
Напряжение холостого хода MMA:	60 В
Диаметр электрода TIG:	1.0–4.0 мм
Диаметр электрода MMA:	1.5–5.0 мм
Время продувки газом после сварки:	2–10 с
Способ возбуждения дуги:	Высокочастотный
Коэффициент мощности:	0.93
КПД:	87%
Класс изоляции:	F
Класс защиты:	IP 21S
Габариты:	492x209x380 мм
Вес:	14.8 кг

3.2 Контроль качества сварных соединений

В процессе изготовления, монтажа и ремонта трубопроводов и трубных систем котлов необходимо осуществлять систематический контроль качества сварочных работ и сварных соединений — предварительный контроль (включая входной контроль), операционный контроль и приемочный контроль сварных соединений.

Контроль сварных соединений (за исключением стилоскопирования) должен производиться после термической обработки стыков. Рекомендуется осуществлять операции по контролю готовых сварных соединений в той последовательности, в какой они изложены в настоящем разделе. Ультразвуковой контроль следует выполнять после визуального контроля сварных соединений и устранения недопустимых наружных дефектов.

Сроки выполнения контрольных операций должны быть минимальными с тем, чтобы была обеспечена возможность исправления дефектов без нарушения последовательности технологии монтажа или ремонта изделия.

3.2.1 Визуальный и измерительный контроль

Визуальный и измерительный контроль сварных соединений при монтаже и ремонте оборудования ГРЭС, изготовлении отдельных его элементов, а также входном контроле основных и сварочных материалов, материалов для дефектоскопии выполняется в соответствии с РД 03-606-03 «Инструкцией по визуальному и измерительному контролю» [10].

Визуальному контролю подвергаются все законченные сварные соединения, независимо от марки стали, типа сварного соединения, назначения и условий работы. Перед визуальным контролем сварные швы и прилегающая к ним поверхность основного металла шириной не менее 20 мм (по обе стороны шва) должны быть очищены от шлака, брызг расплавленного металла, окалины и других загрязнений.

Визуальный контроль производится невооруженным глазом или с помощью лупы 4-7-кратного увеличения для участков, требующих уточнения характеристик обнаруженных дефектов, с применением, при необходимости, переносного источника света.

Недопустимыми дефектами, выявленными при визуальном контроле сварных соединений, являются:

- трещины всех видов и направлений;
- непровары (не сплавления) между основным металлом и швом, а также между валиками шва;
- наплывы (натеки) и брызги металла;
- не заваренные кратеры;
- свищи;
- прожоги;
- скопления включений.

Нормы на допустимые дефекты приведены в таблице 18. Нормы на дефекты в корне шва, выявляемые при визуальном контроле в случае возможности осмотра стыков изнутри трубы (выпуклость, вогнутость и непровар корня шва), должны отвечать нормам на эти дефекты, выявляемые при радиографическом контроле.

Таблица 18 - Нормы допустимых поверхностных дефектов, выявляемых при визуальном контроле сварных соединений

Дефект	Размерный показатель сварного соединения, мм	Допустимый максимальный размер дефекта, мм	Допустимое число дефектов на любых 100 мм шва
Западания (углубления) между валиками и чешуйчатость поверхности шва	S=70	2,0	Не ограничивается
Одиночные включения	S=70	2,5	8
Подрезы основного металла	Независимо	0,2*	—

Продолжение Таблицы 18

Отклонения от прямолинейности сварных стыков труб	Независимо	Просвет между линейкой и трубой на расстоянии 200 мм от стыка не должен быть более 3 мм
---	------------	---

* Подрез размером 0,2 мм и менее измерению не подлежит, определяется визуально.

Измерительный контроль сварных соединений (определение размеров швов, смещения кромок, переломов осей, углублений между валиками, чешуйчатости поверхности швов и др.) следует выполнять в местах, где допустимость этих показателей вызывает сомнения при визуальном контроле. Размеры и форма шва проверяются с помощью шаблонов, размеры дефекта — с помощью мерительных инструментов.

Корневая часть шва должна подвергаться визуальному контролю до заполнения остальной части шва. Этот контроль проводится сварщиком после зачистки поверхности корня шва. Результаты контроля считаются удовлетворительными, если не обнаружены трещины, не заваренные прожоги и кратеры, скопления включений, превышающие нормы таблицы 18, и другие дефекты, свидетельствующие о нарушении режима сварки или о недоброкачественности сварочных материалов. При обнаружении недопустимых дефектов вопрос о продолжении сварки или способе исправления дефектов должен решать руководитель сварочных работ.

Выявленные при визуальном и измерительном контроле дефекты, которые могут быть исправлены (удалены) без последующей заварки выборок, должны быть исправлены до проведения контроля другими методами.

3.2.2 Измерение твердости металла шва

Измерение твердости металла шва производится с целью проверки качества термообработки сварных соединений.

Измерению твердости металла шва подвергаются все сварные соединения трубопроводов, выполненные хромомолибденовым и хромомолибденованадиевым присадочным материалом и подвергнутые термообработке.

Твердость металла шва следует измерять переносными твердомерами на зачищенных до металлического блеска участках его поверхности. На каждом сварном шве должно быть подготовлено не менее трех участков в разных местах по периметру стыка и на каждом участке должно быть проведено не менее трех измерений.

Твердость металла шва определяется как среднее арифметическое результатов измерений твердости на трех участках. Твердость каждого участка в свою очередь определяется как среднее арифметическое результатов трех измерений, при этом отклонение значения твердости, полученного при любом измерении, от норм, должно быть не более 7%.

3.2.3 Ультразвуковая дефектоскопия

Для обнаружения возможных внутренних дефектов сварные соединения из хромомолибденованадиевой стали 15X1M1Ф подлежат 100%-му ультразвуковому контролю, согласно [11].

Применение других физических методов контроля, модернизированных или автоматизированных вариантов существующих, а также замену одного метода другим либо их сочетанием разрешается производить по инструкции, согласованной с Ростехнадзором России.

Отступления от предусмотренного объема ультразвукового контроля сварных соединений при монтажных и ремонтных работах могут быть допущены в случае технической невозможности проведения контроля по условиям охраны труда. В таких случаях допускается либо уменьшить объем ультразвукового контроля, либо заменить этот вид контроля послойным визуальным контролем в процессе сварки с фиксацией результатов в специальном журнале и контролем готового сварного соединения

магнитопорошковой или капиллярной дефектоскопией, или методом травления.

Ультразвуковому контролю должны подвергаться только соединения с полным проплавлением (без конструктивного непровара).

4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

4.1 Расчёт нормативной продолжительности выполнения работ

Нормативную продолжительность цикла работ определяют по отдельным составляющим его производственным процессам [12], например:

- подготовительные работы;
- монтажные работы;
- испытания и др.

Продолжительность работ формируется на основе наряда на производство работ; данных геологической, технической или технологической части проекта; норм времени на операции; данных справочников для нормирования операций, вспомогательных, подготовительно-заключительных, измерительных и работ и др. В таблице 19 представлены нормы времени на выполнение операций.

Таблица 19 - Нормы времени выполнения технологических операций

Наименование операций	Объем работ		Продолжительность работ, часов	Состав бригады, чел
	ед. измерения	Кол-во		
ВИК кромок труб	шт.	1	0,5	4
Разделка и зачистка кромок труб	шт.	1	6	4
Установка узла в проектное положение	шт.	1	3	4
Сборка стыка. Установка инвентарных центраторов	шт.	1	2	4
Выполнение прихваток	шт.	1	0,5	4
ВИК	шт.	1	0,5	4
Выполнение корневого слоя шва аргонодуговой ручной сваркой	шт.	1	2	4
ВИК	шт.	1	0,5	4
Выполнение заполняющего слоя шва РДС. Зачистка от шлака и брызг металла	шт.	1	4	4
ВИК	шт.	1	0,5	4
Выполнение облицовочного слоя шва. Зачистка от шлака и брызг металла	шт.	1	2	4

Продолжение Таблицы 19

ВИК	шт.	1	0,5	4
Термообработка	шт.	1	6	4
Ультразвуковой контроль	шт.	1	1	1
Итого			29	

4.2 Расчёт сметной стоимости работ

Основные методы расчёта сметной стоимости работ отражены на рисунке 9.

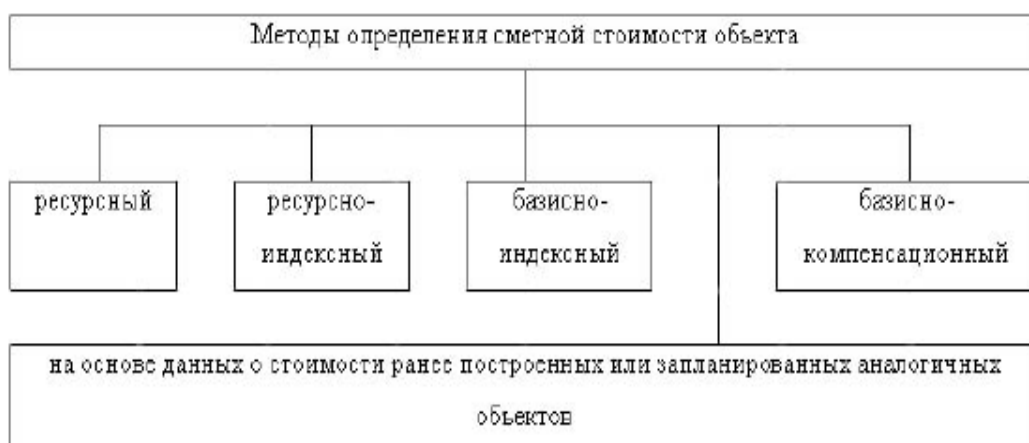


Рисунок 9 - Методы определения сметной стоимости

Ресурсный метод - калькулирование в текущих (прогнозных) ценах и тарифах ресурсов (элементов затрат), необходимых для реализации проектного решения. При составлении смет используются натуральные измерители расхода материалов и конструкций, затрат времени эксплуатации машин и оборудования, затраты труда рабочих, а цены на указанные ресурсы принимаются текущие (т.е. на момент составления смет). Использование данного метода позволяет определить сметную стоимость объекта на любой момент времени.

Ресурсно-индексный метод предполагает дополнительное использование индексов цен на ресурсы, используемые при осуществлении строительства.

Базисно-индексный метод основан на применении системы текущих и прогнозных индексов по отношению к стоимости строительства,

определенной в базисном уровне. Для приведения в уровень текущих (прогнозных) цен базисная стоимость объекта по отдельным строкам сметы и каждому из элементов технологической структуры капитальных вложений умножается на соответствующий индекс по отрасли (под отрасли), виду работ с последующим суммированием итогов сметы.

Базисно-компенсационный метод - это суммирование стоимости, исчисленной в базисном уровне сметных цен, и дополнительных затрат, связанных с ростом цен на используемые в строительстве ресурсы, с уточнением указанных расчетов в процессе строительства в зависимости от реального изменения цен.

В качестве еще одного метода определения сметной стоимости может использоваться информация о стоимости ранее построенных или запроектированных аналогичных объектов.

В нашем случае будем использовать ресурсный метод расчёта определения сметной стоимости по выполнению сварки стыка из теплоустойчивой хромомолибденованадиевой стали 15X1M1Ф. Основные статьи сметного расчёта затрат на проведение работ представлены в таблице 20.

Таблица 20 - Статьи сметного расчёта на выполнение работ

Статьи затрат
Материальные затраты
Затраты на оплату труда
Затраты на оборудование
Страховые взносы в государственные внебюджетные фонды
Амортизация основных средств
Всего стоимость

Основу сметного расчёта составляют затраты на материальные ресурсы, затраты на заработную плату и страховые взносы, амортизация основных фондов. Затраты материальные ресурсы отражены в таблице 21.

Таблица 21 - Расчет стоимости материалов на проведение работ

Наименование материала, единица измерения	Норма расхода материала, нат. ед.	Цена за единицу, руб./ нат. ед.	Стоимость материалов, руб.
Электроды ТМЛ-3У, 4мм	23,326 кг	196	4571,9
Сварочная проволока Св-08ХГСМФА	6 п.м.	5,2	31,2
Аргон (газ)	10 л/мин	7800	1950
Диск шлифовальный	5 шт.	100	500
ИТОГО			7053,1

К расходам на оплату труда относятся суммы, начисленные по тарифным ставкам, должностным окладам, сдельным расценкам или в процентах от выручки от реализации продукции (работ, услуг) в соответствии с принятыми на предприятии (организации) формами и системами оплаты труда. Премии за производственные результаты, надбавки к тарифным ставкам и окладам за профессиональное мастерство и др. начисления стимулирующего или компенсирующего характера – надбавки за работу в ночное время, в многосменном режиме, совмещение профессий, работу в выходные и праздничные дни и др.

Надбавки по районным коэффициентам – 30%, за работу в районах крайнего Севера – 30%, надбавка за вредные условия труда – 4%. Суммы платежей (взносов) работодателей по договорам обязательного и добровольного страхования. Расчет заработной платы можно свести в таблицу 22.

Таблица 22 - Расчет заработной платы

Должность	Количество	Разряд	Часовая тарифная ставка, руб.	Коэффициент надбавок	Норма времени на проведение мероприятия, ч.	Заработная плата с учетом надбавок, руб.
Слесарь	4	5	72,48	1,6	17	7885,83
Сварщик	2	6	91,43	1,64	8,5	2549,10
Термист	2	4	89,5	1,6	6	1718,40
Дефектоскопист	1	4	95,1	1,6	3,5	532,56

Продолжение Таблицы 22

ИТОГО						12658,89
-------	--	--	--	--	--	----------

Страховые взносы определяются согласно установленным Налоговым кодексом РФ. Заработная плата с учетом страховых взносов будет рассчитываться, как произведение заработной платы с учётом надбавок на коэффициенты страховых взносов (обязательное пенсионное страхование, обязательное социальное страхование и обязательное медицинское страхование):

$$\begin{aligned}
 Z_{\text{осв}} &= Z_{\text{н}} \cdot (1 + (K_{\text{опс}} + K_{\text{осс}} + K_{\text{омс}})), & (19) \\
 Z_{\text{осв}} &= 7885,83 \cdot (1 + (0,22 + 0,029 + 0,051)) = \\
 &= 7885,83 \cdot 1,3 = 10251,58 \text{ руб.}
 \end{aligned}$$

Расчет страховых взносов отразим в таблице 23.

Таблица 23 - Расчет страховых взносов

Должность	Обязательное пенсионное страхование (ОПС), %	Обязательное социальное страхование (ОСС), %	Обязательное медицинское страхование (ОМС), %	Заработная плата с учетом надбавок, руб.	Величина страховых взносов, руб.	Заработная плата с учетом страховых взносов, руб.
Слесарь	22	2,9	5,1	7885,83	2365,75	10251,58
Сварщик				2549,10	764,73	3313,83
Термист				1718,40	515,52	2233,92
Дефектоскопист				532,56	159,77	692,33
ИТОГО				12658,89	3832,77	16491,66

Сумма амортизационных отчислений определяется исходя из балансовой стоимости основных производственных фондов и нематериальных активов и утвержденных в установленном порядке норм амортизации, учитывая ускоренную амортизацию их активной части. Расчет амортизационных отчислений отражен в таблице 24.

Таблица 24 – Расчет амортизационных отчислений

Наименование объекта основных фондов	Количество	Балансовая стоимость, руб.		Годовая норма амортизации, %	Сумма амортизации, руб./смену
		одного объекта	всего		
Сварочный аппарат Сварог REAL TIG 250	2	47800	95600	10	38,55
ИТОГО					38,55

На основании вышеперечисленных расчетов затрат определяется общая сумма затрат на проведение организационно-технического мероприятия по форме таблицы 25.

Таблица 25 - Затраты на проведение организационно-технического мероприятия

Состав затрат	Сумма затрат, руб.
1. Материальные затраты	7053,10
2. Затраты на оплату труда	12658,89
3. Затраты на оборудование	95600,00
4. Страховые взносы 30%	3832,77
5. Амортизационные отчисления (сварочный аппарат)	38,55
Итого основные расходы	119183,31

4.3 Заключение по главе 4

В разделе «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» по известным данным произвели расчёт сметной стоимости работ по монтажу и сварке сварочного стыка трубопровода «острого пара» из теплоустойчивой хромомолибденованадиевой стали 15X1M1Ф. Определили затраты на расходные материалы, заработную плату, страховые отчисления согласно Налоговому кодексу РФ, рассчитали амортизацию на сварочное оборудование.

5 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

5.1.1 Специальные (характерные для рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства

Согласно ТК РФ, Ст. 219 [13]. Право работника на труд в условиях, отвечающих требованиям охраны труда, 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.

Так согласно [13] минимальный размер повышения оплаты труда работникам, занятым на работах с вредными и (или) опасными условиями труда, составляет 4 процента тарифной ставки (оклада), установленной для различных видов работ с нормальными условиями труда.

Также согласно [13] ежегодный дополнительный оплачиваемый отпуск предоставляется работникам, условия труда на рабочих местах которых по результатам специальной оценки условий труда отнесены к вредным условиям труда 2, 3 или 4 степени либо опасным условиям труда.

Минимальная продолжительность ежегодного дополнительного оплачиваемого отпуска работникам, указанным в части первой настоящей статьи, составляет 7 календарных дней.

Продолжительность ежегодного дополнительного оплачиваемого отпуска конкретного работника устанавливается трудовым договором на основании отраслевого (межотраслевого) соглашения и коллективного договора с учетом результатов специальной оценки условий труда.

На основании отраслевого (межотраслевого) соглашения и коллективных договоров, а также письменного согласия работника, оформленного путем заключения отдельного соглашения к трудовому договору, часть ежегодного дополнительного оплачиваемого отпуска, которая превышает минимальную продолжительность данного отпуска, установленную частью второй настоящей статьи, может быть заменена отдельно устанавливаемой денежной компенсацией в порядке, в размерах и на условиях, которые установлены отраслевым (межотраслевым) соглашением и коллективными договорами.

Согласно СП 2.2.3670-20 [14], устанавливаются обязательные требования к обеспечению безопасных для человека условий труда.

Юридические лица и индивидуальные предприниматели обязаны осуществлять:

- производственный контроль над условиями труда;
- разрабатывать и проводить санитарно-противоэпидемические (профилактические) мероприятия, предусмотренные Санитарными правилами.

Производственный контроль над условиями труда осуществляется посредством проведения (организации) лабораторных исследований (испытаний) и измерений факторов производственной среды.

Лабораторные исследования и испытания организуются хозяйствующим субъектом и проводятся испытательной лабораторией (центром), принадлежащей хозяйствующему субъекту, или иной

лабораторией (центром), аккредитованной в соответствии с законодательством Российской Федерации об аккредитации в национальной системе аккредитации.

Санитарно-противоэпидемические (профилактические) мероприятия, направленные на предупреждение вредного воздействия факторов производственной среды и трудового процесса на здоровье работника, включают в себя:

- технологические и технические мероприятия;
- организационные мероприятия;
- организацию лечебно-профилактического питания;
- применение средств индивидуальной защиты (далее - СИЗ).

На постоянных рабочих местах у источников тепла, создающих уровни теплового излучения и температуры воздуха выше действующих гигиенических нормативов должно быть организовано воздушное душирование, при невозможности применения местных укрытий и отсосов.

Зоны с эквивалентным уровнем звука выше гигиенических нормативов должны быть обозначены знаками безопасности.

На рабочем месте, предназначенном для работы в положении стоя, производственное оборудование должно иметь пространство для стоп высотой не менее 150 мм, глубиной не менее 150 мм и шириной не менее 530 мм.

При ручной электросварке и наплавке крупногабаритных изделий следует применять поворотные-подъемные наклонные панели одно- или двухстороннего равномерного всасывания.

При сварке на нестационарных рабочих местах (за исключением работ на открытом воздухе) следует предусматривать местную вытяжную вентиляцию.

При определении перечня факторов производственной среды и трудового процесса должен учитываться химический состав используемых сварочных материалов.

5.1.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны

При выполнении компоновки рабочей зоны буду руководствоваться ГОСТ 12.2.033-78 [15].

Согласно рекомендациям рабочее место для выполнения работ стоя организуют при физической работе средней тяжести и тяжелой, а также при технологически обусловленной величине рабочей зоны, превышающей ее параметры при работе сидя.

Рабочее место должно быть организовано в соответствии с требованиями стандартов, технических условий и (или) методических указаний по безопасности труда.

Рабочее место должно обеспечивать выполнение трудовых операций в пределах зоны досягаемости моторного поля. Зоны досягаемости моторного поля в вертикальной и горизонтальной плоскостях для средних размеров тела человека приведены на рисунке 10.

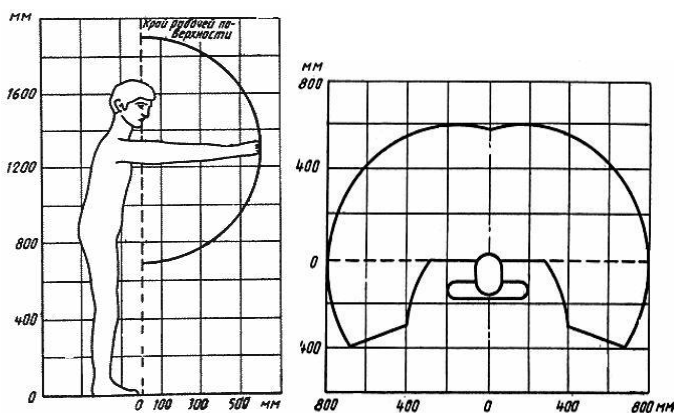


Рисунок 10 - Зона досягаемости моторного поля в вертикальной и горизонтальной плоскости

5.1.3 Производственная безопасность

Для всех способов сварки плавлением в той или иной степени существует возможность опасных воздействий на сварщика в связи со следующими факторами, указанными в [16]:

- поражение электрическим током;
- поражение лучами электрической дуги глаз и открытой поверхности кожи;
- ожоги от капель металла и шлака при сварке;
- отравление вредными газами, выделяющимися при сварке и при загрязнении помещений пылью и испарениями различных веществ;
- взрывы из-за неправильного обращения с баллонами сжатого газа либо выполнения сварки вблизи легковоспламеняющихся и взрывоопасных веществ;
- пожары от расплавленного металла и шлака в процессе сварки;
- травмы различного рода механического характера при подготовке тяжелых изделий к сварке и в процессе сварки.

Для защиты сварщика от поражения электрическим током необходимо:

- надёжно заземлять корпус источника питания дуги и свариваемое изделие;
- не использовать контур заземления в качестве сварочного провода;
- работать в сухой и прочной спецодежде и рукавицах (ботинки не должны иметь в подошве металлических шпилек и гвоздей).

Сварочная дуга является источником световых лучей, яркость которых может вызвать ожог незащищённых глаз при облучении их в течении всего 10-15 с. Воздействие дуги вредно не только для сварщиков, но и для подручных рабочих-сборщиков. Для предотвращения опасного поражения глаз обязательно применение защитных стёкол – наиболее тёмных для сварщика и более светлых для вспомогательных рабочих. В заводских условиях сварщики должны работать в изолированных кабинах. При работе на открытом воздухе и в помещениях, где не предусмотрены кабины, сварщики должны оградить место сварки щитами, ширмами и т.п., учитывая, что вредные излучения дуги распространяются на 10-30 м.

Для защиты от ожогов сварщиков обеспечивают специальной одеждой, обувью, рукавицами и головным убором.

Опасность возникновения существует в тех случаях, когда сварку выполняют по металлу, закрывающему дерево либо горючие изоляционные материалы, на деревянных лесах, вблизи легко воспламеняющихся материалов и т.п. Все указанные варианты сварки не должны допускаться.

Все машины, агрегаты и оборудование имеют опасные зоны, в пределах которых не исключены случаи производственного травматизма.

Защитные мероприятия для создания нормальных условий труда в сварочном производстве должны быть направлены на устранение вредностей от загрязнения воздушной среды, производственного шума обеспечение электробезопасности и безопасности при эксплуатации баллонов и систем, содержащихся под давлением.

5.1.4 Анализ потенциально возможных и опасных факторов, которые могут возникнуть на рабочем месте при проведении сварочных работ

Для выбора факторов использовался ГОСТ 12.0.003-2015 «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация» [17]. Неблагоприятные производственные факторы по результирующему воздействию на организм работающего человека подразделяют:

- на вредные производственные факторы, то есть факторы, приводящие к заболеванию, в том числе усугубляющие уже имеющиеся заболевания;
- опасные производственные факторы, то есть факторы, приводящие к травме, в том числе смертельной.

Перечень опасных и вредных факторов, характерных для проектируемой производственной среды представлен в таблице 26.

Таблица 26 - Опасные и вредные факторы при выполнении сварочных работ

Источник фактора, наименование вида работ	Факторы (по ГОСТ 12.0.003-2015)		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	
1) Выполнение сварочных работ 2) Работа с электроинструментом типа УШМ	1. Повышенный уровень шума на рабочем месте; 2. Неудовлетворительный микроклимат; 3. Недостаточная освещенность рабочей зоны.	1. Электрический ток	СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 СанПиН 2.2.4.1191-03 СП 52.13330.2011 СанПиН 2.2.4.548-96 СН 2.2.4/2.1.8.562-96

5.1.5 Характеристики и допустимые уровни шума на рабочих местах

Характеристикой постоянного шума на рабочих местах, согласно ГОСТ 12.1003-2014 [18] являются уровни звукового давления в дБ в октавных полосах со среднегеометрическими частотами 31,5, 63, 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000, 8000 Гц, определяемые по формуле:

$$L = 20 \lg \frac{P}{P_0}, \quad (20)$$

где P - среднее квадратическое значение звукового давления, Па;

P_0 - исходное значение звукового давления. В воздухе $P_0 = 2 \times 10^{-5}$ Па.

Допускаемые уровни звукового давления в октавных полосах частот, уровни звука и эквивалентные уровни звука на рабочих местах следует принимать для тонального и импульсного шума - на 5 дБ меньше значений, указанных в таблице 27.

Таблица 27 - Допускаемые уровни звукового давления

Вид трудовой деятельности, рабочие места	Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц									Уровень звука, дБА
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Выполнение всех видов работ на постоянных рабочих местах в производственных помещениях и на территории предприятий	107	98	87	82	78	75	73	71	69	80

Для предотвращения воздействия шума на органы слуха рабочего персонала, работникам следует применять средства коллективной и индивидуальной защиты, такие как противошумные вкладыши (беруши), противошумные наушники, акустические экраны, выгородки.

5.1.6 Санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны

Показателями, характеризующими микроклимат, согласно ГОСТ 12.1.005-88 [19], являются:

- температура воздуха;
- относительная влажность воздуха;
- скорость движения воздуха;
- интенсивность теплового излучения.

Во время проведения сварочных работ при ремонтно-восстановительных работах 3-го энергоблока Берёзовской ГРЭС температура воздуха в главном корпусе может достигать 36-47°C, из-за постоянно работающего 2-го энергоблока. Рекомендуется, на рабочих отметках

устанавливать изолированные бытовые помещения с установленными в них кондиционерами и охлажденной питьевой водой, постоянной скоростью движения воздуха - 0,1-0,2 м/с.

Интенсивность теплового облучения работающих от нагретых поверхностей технологического оборудования, осветительных приборов, инсоляции на постоянных и непостоянных рабочих местах не должна превышать 35 Вт/м при облучении 50% поверхности тела и более, 70 Вт/м² - при величине облучаемой поверхности от 25 до 50% и 100 Вт/м² - при облучении не более 25% поверхности тела.

Интенсивность теплового облучения работающих от открытых источников (нагретый металл, стекло, “открытое” пламя и др.) не должна превышать 140 Вт/м², при этом облучению не должно подвергаться более 25% поверхности тела и обязательным является использование средств индивидуальной защиты, в том числе средств защиты лица и глаз.

5.1.7 Естественное и искусственное освещение

Сварочные работы на третьем энергоблоке Берёзовской ГРЭС проводятся в основном с применением искусственного освещения. Применяются диодные прожекторы различных характеристик и конфигураций, но даже этого освещения бывает не достаточно. Поэтому не посредственно на рабочем месте необходимо применять дополнительное освещение в виде переносных диодных прожекторов, которые согласно СП 52.13330.2016 [20], для проведения работ малой и средней точности должны удовлетворять норме освещенности не менее 750 лк, при общем освещении в 200 лк.

Для местного освещения рабочих мест следует использовать светильники с непросвечивающими отражателями. Светильники должны располагаться таким образом, чтобы их светящие элементы не попадали в поле зрения, работающих на освещаемом рабочем месте и на других рабочих местах.

Местное освещение рабочих мест, как правило, должно быть оборудовано регуляторами освещения.

5.2 Экологическая безопасность

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

5.2.1 Анализ влияния сварочного процесса на окружающую среду

Сварочный процесс, помимо реализации основной задачи — соединения металлических деталей, имеет определенный побочный эффект в виде образования новых химических соединений, которые могут оказывать негативное воздействие на человека. Поэтому руководитель производства должен не только позаботиться о качестве и исправности оборудования, но и обеспечить безопасность при сварке, применив специальные средства защиты. Чтобы понять, какие именно средства необходимо применять, нужно углубиться в физико-химические процессы, возникающие при использовании электродуговой технологии в среде защитных газов.

При дуговой сварке, рабочий находится рядом с источником сварочного аэрозоля, который состоит из летучих твёрдосплавных элементов. Концентрация зависит от технологического процесса, марки материалов, используемых при сварке, присадок, флюсов и электродов. Это также касается сварочных аппаратов инверторного типа.

Выделение токсичных веществ, происходит благодаря работе сварочной дуги. Именно она, воздействуя на основной и присадочный материал, является причиной их выделения. Появляются они в непосредственной близости от сварочной дуги, а впоследствии начинают поступать в окружающее пространство. Это происходит, даже если используется маленький сварочный аппарат. Так как, наш сварочный процесс

подразумевает сварку хромомолибденованадиевой стали, то необходимо определить влияние на организм сварщика таких основных химических элементов как: хром, молибден, ванадий, марганец.

Хром. Появление в организме этого элемента в избытке может привести к таким последствиям как угнетение активности или полная инактивация ферментов, мутации в генетическом материале, дерматитам различной степени тяжести, экземы, аллергическим реакциям, ухудшению общего состояния микрофлоры в организме, заболеванию печени, заболеванию легких.

Молибден. Избыточное содержание этого элемента в организме может приводить к таким последствиям как бесплодие, почечная недостаточность, диарея, судорогам, галлюцинациям и необратимым повреждениям мозга.

Ванадий. С точки зрения физической химии, ванадий считается довольно опасным веществом. Реакция организма на это вещество: раздражение дыхательных путей, кашель и насморк. К глубокому сожалению, это химическое вещество практически незаменимо в электродуговой сварке.

Марганец. Отрицательное влияние марганца в первую очередь сказывается на функционировании центральной нервной системе. Его избыточное накопление проявляется в виде постоянной сонливости, ухудшении памяти, повышенной утомляемости. Марганец является политропным ядом, который оказывает вредное воздействие на работу легких, сердечнососудистой системы, может вызвать аллергический или мутагенный эффект. Доза, приводящая к отравлению марганцем, составляет 40 мг в день, появляется снижение аппетита, угнетение роста, нарушение метаболизма железа и функционирования мозга.

Как следствие горения дуги в спектре образуется ультрафиолетовое и инфракрасное излучение. Ультрафиолет негативно влияет на открытые участки тела, может вызвать ожог и глазную электроофтальмию. Кроме того,

в результате воздействия УФ-лучей, в атмосфере образуется озон, который приводит к раздражению дыхательных путей и слизистой оболочки глаз. ИК-излучение также отрицательно влияет на безопасность работы, поскольку способно привести к катаракте.

Во время струйного переноса металла в дуге возникают высокочастотные звуковые колебания, уровень которых находится в области, достаточно опасной для органов слуха. Несмотря на то что в условиях производства этот звук часто остается незаметным на фоне работающего оборудования и вентиляции, его влиянием на слух не стоит пренебрегать.

5.2.2 Решение по обеспечению экологической безопасности

Существует ряд стандартных мероприятий, позволяющих снизить опасность сварочных работ:

- **местная вентиляция.** Рабочая зона в обязательном порядке должна быть оборудована работающим вентиляционным оборудованием;
- **фильтрационные установки.** В качестве фильтров необходимо использовать установки, очищающие воздух от газа, применяемого для реализации конкретной задачи;
- **правильный расход газа.** При излишнем расходе количество побочных химических элементов будет расти;
- **экранирование рабочей зоны.** Чтобы УФ-излучение не распространялось, рабочее место сварщика должно быть снабжено непрозрачными для лучей ультрафиолета экранами;
- **индивидуальные средства защиты.** Ни одна дуговая сварка не должна выполняться без применения средств индивидуальной защиты — масок с возможностью выбора разной оптической плотности, перчаток, закрывающей все участки тела спецодежды, противошумных наушников, респираторов.

Если говорить о безопасности сварочного процесса, также не стоит забывать о качестве применяемой смеси. При наличии большого количества вредных примесей негативный эффект будет только увеличиваться.

5.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

5.3.1 Анализ вероятных ЧС, которые может инициировать объект исследований и обоснование мероприятий по предотвращению ЧС

Согласно ГОСТ Р 22.0.02-2016 [24], ЧС - обстановка на определенной территории или акватории, сложившаяся в результате аварии, опасного природного явления, катастрофы, стихийного или иного бедствия, которые могут повлечь или повлекли за собой человеческие жертвы, ущерб здоровью людей или окружающей природной среде, значительные материальные потери и нарушение условий жизнедеятельности людей.

С точки зрения выполнения проекта характерны следующие виды ЧС:

1. Пожары, взрывы;
2. Террористический акт;
3. Биологическая атака (эпидемии, пандемии);
4. Метеорологические и агрометеорологические опасные явления.

Так как объект исследований представляет собой выполнение сварочных работ на Берёзовской ГРЭС при ремонтно-восстановительных работах 3-го энергоблока, то наиболее вероятными ЧС в данном случае можно назвать возникновение пожара, террористический акт и биологическая атака. Возникновение пожаров в основном возникает из-за человеческого фактора, в частности это нарушение техники безопасности при проведении сварочных работ, работ по зачистке сварного шва при использовании УШМ. Для избежания возникновения пожаров необходимо усилить контроль со стороны ИТР за работниками, выполняющими работы по монтажу и сварке трубопровода. На рабочем месте должны присутствовать порошковые огнетушители серии ОП не менее двух. Рабочее место должно быть выгорожено защитными негорючими экранами. Рабочий

персонал должен использовать средства индивидуальной защиты, предназначенные для проведения сварочных работ – рабочая одежда из негорючих материалов, фартуки с нарукавниками. Все легко воспламеняющиеся материалы (сигнальные жилеты; оберточная бумага; дерево; газовые баллоны, находящиеся под давлением и др.) должны быть удалены из рабочей зоны на расстояние не менее 5 м от места проведения сварочных работ.

Берёзовская ГРЭС является электростанцией федерального уровня, поэтому не исключена возможность проведения на станции Террористических актов. Станция находится под контролем ФГУП «Ведомственная охрана Минпромэнерго», также на территории станции имеется пожарная часть, которая постоянно находится в боевой готовности. Периодически для отработки предотвращения последствий террористического акта, на территории станции проводят командно-штабные учения с отработкой поставленных задач, под контролем ОВД, МЧС и ФСБ России.

5.4 Заключение по главе 5

В данном разделе были рассмотрены вредные и опасные производственные факторы, которые возникают при использовании разработанной технологии сварки толстостенных труб котлоагрегата П-67 при ремонтно-восстановительных работах 3-го энергоблока «Березовской ГРЭС». Также согласно нормативной документации выбраны и предложены соответствующие мероприятия по снижению вредного и опасного влияния на работников, задействованных при монтажных и сварочных работах согласно разработанной технологии.

Заключение

При выполнении курсового проекта, целью которого было получение сварного соединения с механическими характеристиками не ниже чем у основного металла, а также примерно одинаковым химическим составом, была разработана технология сварки неповоротного стыка трубы из стали 15Х1М1Ф ручной дуговой сваркой.

Режим сварки выбран в соответствии с данной толщиной металла, заданной глубиной проплавления и требуемыми размерами шва.

Источник питания для ручной дуговой сварки выбран на основе полученных режимов сварки. При соблюдении разработанной технологии сварки ожидается получение сварного соединения, отвечающего своему назначению.

Список использованных источников:

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. Сварка и свариваемые материалы: В 3-х т. Т. I. Свариваемость материалов. Справ. изд./Под ред. Э. Л. Макарова – М.: Металлургия, 1991, с. 528.
3. ТУ-14-ЗР-55-2001. Трубы стальные бесшовные для паровых котлов и трубопроводов.
4. 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.
5. ГОСТ 9467-75. Электроды покрытые металлические для ручной дуговой сварки конструкционных и теплоустойчивых сталей.
6. ГОСТ 2246-70. Проволока стальная сварочная.
7. ГОСТ 10157-2016 Аргон газообразный и жидкий. Технические условия
8. ГОСТ 23949-80 Электроды вольфрамовые сварочные неплавящиеся. Технические условия.
9. ОСТ 24.125.60-89 Детали и сборочные единицы трубопроводов пара и горячей воды тепловых электростанций. Общие технические условия.
10. РД 03-606-03. Инструкция по визуальному и измерительному контролю.
11. ГОСТ Р 55724-2013 Контроль неразрушающий. Соединения сварные. Методы ультразвуковые.
12. Методические указания для выполнения раздела выпускной квалификационной работы «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»: методические указания / Г.Ю. Боярко, О.В. Пожарницкая, В.Б. Романюк, А.А. Вазим, И.В. Шарф,

- М.Р. Цибульникова и др.; Томский политехнический университет. - Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2017. -166 с.
13. Трудовой кодекс Российской Федерации" от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 24.04.2020).
 14. СП 2.2.3670-20 «Санитарно-эпидемиологические требования к условиям труда». Москва с. 49
 15. ГОСТ 12.2.033-78 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Рабочее место при выполнении работ стоя. М.: ИПК Издательство стандартов, 2001, с. 9.
 16. ГОСТ 12.3.003-86 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Работы электросварочные. Общие требования безопасности.
 17. ГОСТ 12.0.003-2015 «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация».
 18. ГОСТ 12.1003-2014 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Шум. Общие требования безопасности.
 19. ГОСТ 12.1.005-88 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.
 20. СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение.
 21. ГОСТ 12.1.038-82 – ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов.
 22. ГОСТ 12.1.019-2017 – ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.
 23. ГОСТ 12.2.007.8-75 – ССБТ. Устройства электросварочные и для плазменной обработки. Требования безопасности.
 24. ГОСТ Р 22.0.02-2016 Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Термины и определения.
 25. Приказ №6/од от 10.02.2014г. Положения о выпускных квалификационных работах бакалавра, специалиста и магистра в Томском политехническом университете.

Приложение А
(обязательное)

Комплект технологической документации