

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

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

### БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Исследование влияния покрытых электродов различных производителей на свойства сварных соединений низколегированных стальных труб

УДК 621.791.042.4.053-047.37:621.643.2-034.14

Обучающийся

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1В81	Акимов Руслан Романович		

Руководитель ВКР

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

### КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОСГН	Гасанов М.А.	д.э.н		

По разделу «Социальная ответственность»

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

Нормоконтроль

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Кулагин А.Е.	к.ф.-м.н		

### ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП, должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭИ	Першина А.А.	к.т.н		

## ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОСВОЕНИЯ ООП

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

	качество монтажа и наладки при испытаниях и сдаче в эксплуатацию новых образцов изделий, узлов и деталей выпускаемой продукции
<b>ПК(У)-5</b>	умеет проверять техническое состояние и остаточный ресурс технологического оборудования, организовывать профилактический осмотр и текущий ремонт оборудования
<b>ПК(У)-6</b>	умеет проводить мероприятия по профилактике производственного травматизма и профессиональных заболеваний, контролировать соблюдение экологической безопасности проводимых работ
<b>ПК(У)-7</b>	умеет выбирать основные и вспомогательные материалы и способы реализации основных технологических процессов и применять прогрессивные методы эксплуатации технологического оборудования при изготовлении изделий машиностроения
<b>ПК(У)-8</b>	умеет применять методы стандартных испытаний по определению физико-механических свойств и технологических показателей используемых материалов и готовых изделий
<b>ПК(У)-9</b>	способен метрологически обеспечивать технологические процессы, использовать типовые методы контроля качества выпускаемой продукции
<b>ПК(У)-16</b>	способен к систематическому изучению научно-технической информации, отечественного и зарубежного опыта по соответствующему профилю подготовки
<b>ПК(У)-17</b>	умеет обеспечивать моделирование технических объектов и технологических процессов с использованием стандартных пакетов и средств автоматизированного проектирования, проводить эксперименты по заданным методикам с обработкой и анализом результатов
<b>ПК(У)-18</b>	способен принимать участие в работах по составлению научных отчетов по выполненному заданию и во внедрении результатов исследований и разработок в области машиностроения
<b>ПК(У)-19</b>	способен участвовать в работе над инновационными проектами, используя базовые методы исследовательской деятельности
<b>ДПК(У)-1</b>	способен контролировать соответствие основных и свариваемых материалов, сварочного и вспомогательного оборудования, оснастки и инструмента, технологической документации, соблюдения технологической дисциплины и правильной эксплуатации технологического оборудования
<b>ДПК(У)-2</b>	способен составлять планы размещения оборудования, технического оснащения и организации рабочих мест, производить расчет производственной мощности и загрузки оборудования
<b>ДПК(У)-3</b>	способен изучать и анализировать причины возникновения брака и выпуска продукции низкого качества, участие в разработке мероприятий по их предупреждению и устранению

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

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

УТВЕРЖДАЮ:  
 Руководитель ООП

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

### ЗАДАНИЕ на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

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

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

Студенту:

Группа	ФИО
1В81	Акимову Руслану Романовичу

Тема работы:

Исследование влияния покрытых электродов различных производителей на свойства сварных соединений низколегированных стальных труб
--

Утверждена приказом директора (дата, номер)	09.12.2021, №343-10/с
---	-----------------------

Срок сдачи студентом выполненной работы:	08.06.2022
--	------------

#### ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p><b>Исходные данные к работе</b></p> <p><i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<p>Исследование влияния покрытых электродов различных производителей на свойства сварных соединений низколегированных стальных труб</p>
---	---

<p><b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b></p> <p><i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Обзорная часть</li> <li>2. Выбор сварочных материалов <ol style="list-style-type: none"> <li>2.1. Сравнительная характеристика электродов</li> <li>2.2. Материал сварной конструкции</li> <li>2.3. Оценка технологической свариваемости материала</li> <li>2.4. Выбор оборудования для сварки</li> </ol> </li> <li>3. Разработка технологии изготовления конструкции <ol style="list-style-type: none"> <li>3.1. Выбор формы подготовки свариваемых кромок</li> <li>3.2. Расчет параметров режима сварки</li> <li>3.3. Расчет расхода сварочных материалов</li> <li>3.4. Технология сборки и сварки</li> </ol> </li> </ol>
<p><b>Перечень графического материала</b></p> <p><i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<p>Конструктивные элементы кромок стыка труб  Конструктивные элементы сварного шва  Сборка конструкции</p>

<p><b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b></p> <p><i>(с указанием разделов)</i></p>	
<p><b>Раздел</b></p>	<p><b>Консультант</b></p>
<p>1-3 пп.</p>	<p>Першина А.А., к.т.н., доцент ОЭИ ИШНКБ</p>
<p>4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</p>	<p>Гасанов М.А., д.э.н. профессор ОСГН</p>
<p>5. Социальная ответственность</p>	<p>Авдеева И.И., старший преподаватель</p>
<p>Комплект технологических документов</p>	<p>Першина А.А., к.т.н., доцент ОЭИ ИШНКБ</p>

<p><b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b></p>	<p>09.12.2021</p>
--	-------------------

**Задание выдал руководитель:**

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

**Задание принял к исполнению студент:**

<p>Группа</p>	<p>ФИО</p>	<p>Подпись</p>	<p>Дата</p>
<p>1В81</p>	<p>Акимов Руслан Романович</p>		

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

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
1В81	Акимов Руслан Романович

<b>Школа</b>	<b>Инженерная школа неразрушающего контроля и безопасности</b>	<b>Отделение школы (НОЦ)</b>	<b>М.В. Тригуб</b>
<b>Уровень образования</b>	Бакалавриат	<b>Направление/специальность</b>	15.03.01 Машиностроение: Оборудование и технология сварочного производства

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Оклад руководителя- 30000 руб. Оклад инженера – 15000 руб.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	Премиальный коэффициент руководителя 30%; Премиальный коэффициент инженера 20%; Доплаты и надбавки руководителя 30%; Доплаты и надбавки инженера 30%; Дополнительной заработной платы 12%; Накладные расходы 16%; Районный коэффициент 1,3%.
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды 30,2 %

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

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	Определение потенциального потребителя результатов исследования, SWOT-анализ разработанной стратегии
2. Планирование и формирование бюджета научных исследований	Определение структуры работы. Расчет трудоемкости выполнения работ. Подсчет бюджета исследования
3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	Рассчитать показатели финансовой эффективности, ресурсоэффективности и эффективности исполнения

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

<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Оценка конкурентоспособности технических решений</li> <li>2. Матрица SWOT</li> <li>3. Альтернативы проведения НИ</li> <li>4. График проведения и бюджет НИ</li> <li>5. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИ</li> </ol>	
---	--

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

**Задание выдал консультант:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
профессор ОСГН	Гасанов М.А.	д.э.н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
1В81	Акимов Руслан Романович		

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

<b>Группа</b> 1В81		<b>ФИО</b> Акимов Руслан Романович	
<b>Школа</b>	<b>Инженерная школа неразрушающего контроля и безопасности</b>	<b>Отделение (НОЦ)</b>	<b>М.В. Тригуб</b>
<b>Уровень образования</b>	<b>Бакалавриат</b>	<b>Направление/ специальность</b>	15.03.01                      Машиностроение: Оборудование и технология сварочного производства

Тема ВКР:

<b>Исследование влияния покрытых электродов различных производителей на свойства сварных соединений низколегированных стальных труб</b>	
<b>Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:</b>	
<b>Введение</b>	<p>Объектом исследования является технология сборки и дуговой сварки труб из низколегированной стали 09Г2С, которая применяется в производстве или строительстве для объектов с трубопроводными системами.</p> <p>Производственное помещение с настенной вытяжкой и смешанным освещением площадью 100м<sup>2</sup> и более.</p> <p>В помещении имеется: оборудование для резки и обработки заготовок, сварочное оборудование, комплект ВИК. Непосредственно на рабочем месте имеются дополнительные источники освещения и местная вытяжка.</p> <p>Рабочий процесс включает в себя виды работ: с абразивным инструментом, сварочным оборудованием и комплектом для контроля.</p>
<b>Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:</b>	
<b><u>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности при разработке проектного решения:</u></b>	<p>"Трудовой кодекс Российской Федерации" от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 25.02.2022);</p> <p>СанПиН 1.2.3685-21 "Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания" <u>СНиП 23-05-95. Естественное и искусственное освещение.</u></p> <p>ГОСТ 12.0.003-2015 ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация;</p> <p>ГОСТ 12.1.004-91 ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования;</p> <p>ГОСТ 12.3.003-86 ССБТ. Работы электросварочные. Требования безопасности.</p>
<b><u>2. Производственная безопасность при разработке проектного решения:</u></b>	<p><b>Вредные факторы:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Отсутствие или недостаток необходимого искусственного освещения;</li> <li>- Вредные вещества;</li> <li>- Шум;</li> <li>- Вибрации;</li> <li>- Высокий уровень интенсивности труда;</li> <li>- Тяжелая физическая работа;</li> <li>- Микроклимат.</li> </ul> <p><b>Опасные факторы:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Производственные факторы, связанные с подвижными части производственного оборудования;</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Неподвижные режущие, колющие, обдирающие, разрывающие части твердых объектов;</li> <li>- Ожоги роговицы глаз;</li> <li>- Опасность поражения электрическим током;</li> <li>- Короткое замыкание;</li> <li>- Статическое эл-во.</li> </ul> <p><b>Требуемые средства коллективной и индивидуальной защиты от выявленных факторов:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Специальная одежда и обувь;</li> <li>- Защитные маски и очки;</li> <li>- Огнеупорные защитные перчатки сварщика (краги);</li> <li>- Респираторы;</li> <li>- Вытяжки;</li> <li>- Ограждения;</li> <li>- Предупреждающие вывески.</li> </ul>
<p><b>3. Экологическая безопасность <u>при разработке проектного решения</u></b></p>	<p><b>Воздействие на селитебную зону:</b> СЗЗ не требуется</p> <p><b>Воздействие на литосферу:</b> металлическая стружка и пыль, окалины, шлак, элементы отработанного оборудования, люминесцентные лампы</p> <p><b>Воздействие на гидросферу:</b> разлив смазывающе-охлаждающих жидкостей, масел, продукты жизнедеятельности персонала</p> <p><b>Воздействие на атмосферу:</b> выбросы из вентиляционных систем, содержащие газы</p>
<p><b>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях <u>при разработке проектного решения</u></b></p>	<p><b>Возможные ЧС:</b></p> <p>Природные катастрофы (наводнения, цунами, ураган и т.д.);</p> <p>Геологические воздействия (землетрясения, оползни, обвалы, провалы территории и т.д.);</p> <p>Техногенные аварии (обвал производственного здания или оборудования, пожар в случае неправильной эксплуатации или ошибки при сборке и сварке)</p> <p><b>Наиболее актуальная ЧС:</b> возникновение пожара.</p>
<p>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</p>	

**Задание выдал консультант:**

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

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1В81	Акимов Руслан Романович		

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

Школа **Инженерная школа неразрушающего контроля и безопасности**

Направление подготовки **15.03.01 Машиностроение**

Уровень образования **бакалавриат**

Отделение школы **электронной инженерии**

Период выполнения \_\_\_\_\_ (осенний / весенний семестр 2021 /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:	08.06.2022
--	------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
17.03.2022	Обзорная часть	10
06.04.2022	Выбор сварочных материалов	10
20.04.2022	Сравнительная характеристика электродов	10
03.05.2022	Разработка технологии изготовления конструкции	10
07.05.2022	Расчет параметров режима сварки	10
08.05.2022	Технология сборки и сварки	10
01.06.2022	Финансовый менеджмент	10
03.06.2022	Социальная ответственность	10
07.06.2022	Комплект технологической документации	10
07.06.2022	Заключение	10

**СОСТАВИЛ:**

**Руководитель ВКР**

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

**СОГЛАСОВАНО:**

**Руководитель ООП**

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

## Реферат

Выпускная квалификационная работа 116 листов, 4 рисунка, 25 таблиц, 26 источников, 2 приложения.

Ключевые слова: сварка низколегированных сталей, ручная дуговая сварка, покрытые электроды, параметры режима ручной дуговой сварки плавящимся электродом, комплект технологической документации.

Актуальность работы заключается в исследовании влияния покрытых электродов различных производителей на свойства сварных соединений низколегированных стальных труб. Работа позволит выявить предпочитаемый тип электродов для сварки низколегированных сталей, также эффективнее получать необходимые свойства сварных соединений, рассчитанные на сложные сварочные процессы.

Объектом исследования является влияние покрытых электродов различных производителей на свойства сварных соединений низколегированных стальных труб. А также сравнение свойств различных марок электродов и их влияния на сварные соединения.

Целью данной работы будет преимущественно определение и подбор лучшей вариаций электродов для сварки трубы из низколегированной стали. А также разработка технологии сборки и сварки трубы диаметром 159 мм из стали 09Г2С, как наглядный пример.

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

В процессе исследования произведено технико-экономическое обоснование целесообразности использования тех или иных покрытых электродов для ручной дуговой сварки.

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

## Определения, сокращения и нормативные ссылки

В настоящей работе применены следующие термины с соответствующими определениями.

**ручная дуговая сварка:** Дуговая сварка с использованием покрытого металлического электрода.

**околошовная зона:** Зона основного металла, подвергшаяся нагреву от электрической дуги.

**сварочный электрод:** Металлический или неметаллический стержень из электропроводного материала.

**сварочная ванна:** Полость, образованная расплавленным металлом от действия электрической дуги.

**прихватка:** Прихваточный сварной шов, служащий для предварительного соединения элементов конструкции.

В данной работе использованы ссылки на следующие стандарты:

1. ГОСТ 9466-75. Электроды покрытые металлические для ручной дуговой сварки сталей и наплавки.
2. ГОСТ 9467-75. Электроды покрытые металлические для ручной дуговой сварки конструкционных и теплоустойчивых сталей. Типы.
3. СТО Газпром 2-2.2-115-2007. Инструкция по сварке магистральных газопроводов с рабочим давлением до 9,8 МПа включительно.
4. ГОСТ 19282-73. Сталь низколегированная толстолистовая и широкополосная универсальная. Технические условия
5. ГОСТ 10705-80. Трубы стальные электросварные.
6. ГОСТ 16037-80. Соединения сварные стальных трубопроводов. Основные типы, конструктивные элементы и размеры.

7. СТО 9701105632-003-2021. Инструкция по визуальному и измерительному контролю.
8. РД 25.160.00-КТН-011-10. Сварка при строительстве и ремонте магистральных нефтепроводов.
9. РД 25.160.10-КТН-016-15. Магистральный трубопроводный транспорт нефти и нефтепродуктов. Неразрушающий контроль сварных соединений при строительстве и ремонте магистральных трубопроводов.
10. ГОСТ 12.3.003-86. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Работы электросварочные. Требования безопасности.
11. СанПиН 1.2.3685-21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания.
12. СНиП 23-05-95\*. Естественное и искусственное освещение.
13. ГОСТ 12.4.254-2013 ССБТ. Средства индивидуальной защиты глаз и лица при сварке и аналогичных процессах. Общие технические условия.
14. ГОСТ 12.1.019-2017 ССБТ. Система стандартов безопасности труда.
15. Р 2.2.2006-05. Руководство, по гигиенической оценке, факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда.

В настоящей работе использованы следующие сокращения:

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

## Оглавление

Введение.....	16
1 Обзорная часть.....	17
1.1 Способ сварки.....	17
1.2 Типы покрытых электродов .....	18
1.3 Электроды для сварки труб из низколегированных сталей .....	21
2 Выбор сварочных материалов для ручной дуговой сварки.....	24
2.1 Сравнительная характеристика электродов.....	24
2.2 Материал сварной конструкции.....	39
2.3 Оценка технологической свариваемости материала.....	40
2.4 Выбор оборудования для сварки.....	41
3 Разработка технологии изготовления конструкции .....	43
3.1 Выбор формы подготовки свариваемых кромок.....	43
3.2 Расчет параметров режима сварки.....	44
3.2.1 Определение сварочного тока.....	45
3.2.2 Напряжение на дуге .....	47
3.2.3 Определение числа проходов.....	48
3.2.4 Скорость сварки.....	49
3.2.5 Определение погонной энергии при сварке .....	50
3.2.6 Определение глубины проплавления .....	51
3.2.7 Ожидаемый химический состав металла шва .....	52
3.3 Расчет расхода сварочных материалов.....	55
3.4 Технология сборки и сварки .....	56
3.4.1 Подготовка сварочных материалов.....	56
3.4.2 Подготовка свариваемых кромок.....	56

3.4.3 Сборка деталей перед сваркой .....	57
3.4.4 Сварка элементов соединения.....	57
3.4.5 Отделочные операции.....	58
3.4.6 Техника безопасности при проведении сварочных работ.....	59
3.4.7 Контроль качества сварных соединений.....	59
3.5 Вывод по разделу .....	61
4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	62
4.1 Потенциальные потребители результатов исследования .....	62
4.2 Анализ конкурентных технических решений .....	63
4.3 SWOT-анализ.....	64
4.4 Планирование работ по научно-техническому исследованию.....	68
4.4.1 Структура работ в рамках научного исследования .....	68
4.4.2 Определение трудоемкости выполнения работ .....	70
4.4.3 Разработка графика проведения научного исследования .....	71
4.5 Бюджет научно-технического исследования .....	75
4.5.1 Расчет материальных затрат НИИ .....	75
4.5.2 Расчет затрат на специальное оборудование для научных работ .....	76
4.5.3 Основная заработная плата исполнителя темы.....	77
4.5.4 Расчет дополнительной заработной платы .....	80
4.5.5 Отчисления во внебюджетные фонды .....	81
4.5.6 Накладные расходы.....	82
4.5.7 Формирование бюджета затрат НИИ проекта .....	82
4.6 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.....	83
4.7 Вывод по разделу .....	86
5 Социальная ответственность .....	87

5.1 Введение.....	87
5.2 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.....	87
5.2.1 Правовые нормы трудового законодательства .....	87
5.2.2 Эргономические требования к правильному расположению и компоновке рабочей зоны.....	88
5.3 Производственная безопасность.....	89
5.3.1 Превышение уровня шума и вибрации .....	90
5.3.2 Отсутствие или недостаток необходимого искусственного освещения.....	91
5.3.3 Вредные вещества .....	92
5.3.4 Ожоги роговицы глаз .....	93
5.3.5 Опасность поражения электрическим током (статическое электричество и короткое замыкание).....	93
5.3.6 Движущиеся машины и механизмы, подвижные части производственного оборудования .....	94
5.3.7 Неподвижные режущие, колющие, обдирающие, разрывающие части твердых объектов.....	95
5.3.8 Высокий уровень интенсивности труда и тяжелая физическая работа.....	95
5.3.9 Микроклимат .....	96
5.4 Экологическая безопасность.....	96
5.5 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	97
5.6 Вывод по разделу .....	99
Заключение .....	101
Список использованных источников .....	103
Приложение А Комплект технологической документации.....	106
Приложение Б Чертеж изготавливаемой конструкции .....	115

## **Введение**

Сварочное производство имеет огромное значение в современном машиностроении. Практически ни одна отрасль народного хозяйства не обходится без того или иного способа сварки. Самый распространенный способ сварки на данный момент – электродуговая сварка, которая в свою очередь делится на ММА (ручная дуговая сварка), TIG (аргодуговая) и MIG-MAG (полуавтоматическая сварка проволокой). Во всех этих способах электрическая дуга между электродом и металлической деталью позволяет достигнуть температуры плавления металла с непосредственным участием ионизированного газа. Газ подается либо из отдельного баллона, либо образуется в результате горения обмазки электрода.

В данной исследовательской работе будет рассмотрен следующий способ сварки из вышеперечисленных – ручная электродуговая сварка. Производится она штучными электродами, которые постепенно плавятся и оставляют за собой скрепляющий шов. Преимущества данного метода сварки — простота и доступность процесса сварки, минимальный необходимый стартовый набор, возможность сварки в любых пространственных положениях и широкий диапазон температурных режимов окружающей среды.

Объектом исследования является влияние покрытых электродов различных производителей на свойства сварных соединений низколегированных стальных труб. А также сравнение свойств различных марок электродов и их влияния на сварные соединения.

Поэтому целью данной работы будет преимущественно определение и подбор лучшей вариаций электродов для сварки трубы из низколегированной стали. А также разработка технологии сборки и сварки трубы диаметром 159 мм из стали 09Г2С, как наглядный пример.

## **1 Обзорная часть**

### **1.1 Способ сварки**

Сварка является самым распространенным способом получения неразъемных соединений. Сварные соединения по сравнению с клепаными, которые использовались ранее, имеют более высокую плотность, прочность и надежность. При использовании сварки уменьшаются затраты труда на изготовление металлоконструкций, улучшаются условия труда в производстве.

Ручная дуговая сварка является и по сей день актуальной благодаря своим преимуществам, характеризующихся в простоте и доступности процесса сварки. Также этот способ требует минимальный необходимый набор для осуществления процесса сварки и имеет возможность сварки в любых пространственных положениях. Широкий диапазон температурных режимов окружающей среды позволяет производить сварочные соединения не только в нормальных условиях, но и в условиях крайнего севера с низкими климатическими температурами.

Характеристика ручной дуговой сварки покрытыми электродами заключается в осуществлении полностью ручным способом перемещения электрода. Основными параметрами режима являются – ток и напряжение. Данные параметры влияют на глубину проплавления металла и скорость расплавления электрода. Универсальный способ ручной дуговой сварки напрямую зависит от квалификации выполняющего и удобства проведения процесса. Область применения дуговой сварки – это металлические конструкции с толщиной более 2 мм.

Сварка покрытыми электродами сопровождается плавлением стержня и электродного покрытия. Электрод – это металлический стержень с покрытием. Плавление электродной проволоки в ванне смешивается с плавящимся основным металлом, а шлак образующийся из плавящегося покрытия обволакивает

свариваемый металл, затем за счет химических свойств всплывает на поверхность, образуя покров. Данный шлаковый покров выполняет задачу предохранения металла от взаимодействия с различными элементами атмосферы [1].

Из-за ручного способа осуществления процесса возникают проблемы с поддержанием стабильного горения дуги, ее длины и контроля проплавления. Сварочная дуга должна иметь необходимые энергетические характеристики. Потому важнейшим фактором при дуговой сварке является выбор источника питания, определяющий параметры напряжения и тока. Которые в свою очередь определяют пространственное положение дуги, форму и движение. На стабильность горения дуги также влияют характеристики источника питания и колебания напряжения сети. Помимо этого, влияние оказывают компоненты, входящие в покрытие электрода, качество и состояние электродов (условия хранения и влажность).

В целом, структура различных участков сварного соединения сложным образом зависит от ряда определяемых технологическим процессом сварки факторов, среди которых можно указать уровень и характер распределения максимальных температур, тепловложение, погонную энергию, скорость охлаждения, число проходов и др. Превращения в околошовной зоне протекают в условиях непрерывного изменения температуры и величины напряжений и деформаций, возникающих вследствие неравномерного интенсивного локального нагрева металла при сварке.

## **1.2 Типы покрытых электродов**

Главные задачи покрытия электродов – это предохранение плавящегося металла от взаимодействия с элементами атмосферы, обеспечение кристаллизации шва и рафинирования предотвращая окисление, образование

пор, трещин и зашлаковки. Также покрытие электрода служит для обеспечения стабильного горения дуги в различном спектре режимов. Покрытие не должно иметь трещин, комков и вздутий, покрытие должно быть нанесено равномерно, прочно и плотно относительно стержня. Дуга должна зажигаться и гореть при рекомендованных режимах сварки в паспорте электрода. Шлак должен легко отделяться, особенно при многослойной сварке конструкций с большим диаметром, т.к. на последующие слои будет накладываться другой.

Сварочные электроды согласно ГОСТ 9466-75 [2] классифицируются по 8 основным направлениям: по назначениям, типам, видам покрытия, маркам, диаметрам, толщине покрытия, пространственным положениям при сварке, по роду и полярности источника тока.

Рассмотрим, какие покрытия электродов бывают, их компоненты и как они обозначаются. Все электроды делятся по типам покрытия (например, Э42А). В обозначении пишется буква Э и числа, которые в свою очередь определяют механические характеристики наплавленного металла (временное сопротивление, относительное удлинение). Возможны определения других свойств, таких как, износоустойчивость или теплоустойчивость.

Марка электрода – это производственное обозначение, которое выбирается изготовителем электродов. К одному типу электродов может относиться несколько марок электродов. Они могут быть определены ГОСТом или патентуется своим производителем. Также электроды делятся по толщине покрытия, которое зависит от отношения диаметра покрытия к диаметру стержня.

Далее электроды делятся на виды покрытия, применяемых при производстве электродов для сварки. В свою очередь виды подразделяются на:

- кислое (А);
- основное (Б);
- целлюлозное (Ц);
- рутиловое (Р);
- смешанные (соответствующие двойное обозначение).

Существуют покрытие с повышенным содержанием железного порошка и с прочими видами покрытия.

Кислое:

Сварочное соединение, выполненное электродами кислого покрытия, характеризуются малой вязкостью и пластичностью, поэтому их используют, когда требования к готовой конструкции минимальны. Электроды с кислым покрытием обладают стойкостью к увлажнению и не требуют больших температур и времени прокаливания. Способствуют равномерному горению дуги и легко зажигаются как на постоянном, так и на переменном токе, но имеют высокое разбрызгивание. Электроды с кислым покрытием применяют для сварки конструкции из малоуглеродистых сталей, металла малых и средних толщин, т.к. при содержании в них углерода более 0,15% есть вероятность образования горячих трещин.

Основное:

Шов, сделанный с применением электрода с основной обмазкой, защищен от возникновения горячих трещин. Основное покрытие обеспечивает удаление из металла сварочной ванны растворенного кислорода, благодаря различным ферросплавам в покрытии. Из-за сложности поддержания горения дуги производить сварку электродами с основным покрытием в большинстве случаев следует только с использованием источника постоянного тока обратной полярности.

Электродные покрытия основного вида позволяют получить шов с повышенными механическими характеристиками за счет меньшего содержания в наплавленном металле водорода по сравнению с покрытиями других видов.

Целлюлозное:

Целлюлозное покрытие содержит органические компоненты в качестве газообразующих и связывающих веществ. Данные электроды могут использоваться в любых пространственных положениях, дают легкое зажигание и хорошее горение дуги, но имеет вероятность большого количества брызг расплавленного металла. Электроды с органическим покрытием производят

наплавленный металл с пониженной пластичности из-за высокого содержания водорода в наплавленном металле. Также данное покрытие восприимчиво к большим температурам. Не рекомендуется применение для сварки стали, имеющей высокий процент углерода и других легирующих компонентов в составе.

Рутиловое:

Рутиловое покрытие имеет в своем составе большее количество рутила. Электроды с данным покрытием обеспечивают получение плотного шва даже при работе с металлами, имеющими ржавые участки или следы окалина на поверхности в местах сварки. Рутиловое покрытие характеризуется малым процентом дефектов в швах. В процессе соединения деталей не образуется горячих трещин и брызг раскаленного металла.

### **1.3 Электроды для сварки труб из низколегированных сталей**

Легирующая сталь – сталь, которая, кроме обычных элементов, содержит примеси, специально вводимые в определенных количествах для обеспечения, повышенных или требуемых, физических или механических свойств. Эти элементы называются легирующими. Один легирующий элемент или легирующие добавки придают специальные свойства, например, повышают прочность, коррозионную стойкость, снижают опасность хрупкого разрушения в стали. В качестве легирующих добавок применяют хром, никель, медь, азот, ванадий, титан и др.

Низколегированной сталью называется сталь, в которой не более 2,5% легирующих элементов.

Низколегированные стали обладают хорошей пластичностью и удовлетворительной свариваемостью. Необходимые механические свойства они могут приобрести после закалки и последующего высокого отпуска. Примеры низколегированных сталей – 09Г2С, 14ХГС, 15ГС и другие. Они характеризуются малым содержанием углерода (<0,18%). Высокие механические

свойства низколегированных сталей достигаются применением других элементов (марганца, хрома, никеля, кремния и т.д.).

Для ручной дуговой сварки стальных трубопроводов и газового оборудования из углеродистых и низколегированных сталей перлитного класса следует применять электроды типа Э42, Э42А, Э46, Э46А, Э50, Э50А, удовлетворяющие требованиям ГОСТ 9466-75 [2] и ГОСТ 9467-75 [9] либо их зарубежные аналоги.

Повышение надежности изделий и элементов конструкций из низколегированных сталей, эксплуатирующихся при разных климатических температурах в значительной степени определяются качеством сварных соединений и уровнем их механических свойств, сопоставленных с характеристиками выбранного электрода. Показатель временного сопротивления показывает соответствие прочности металла шва и свариваемой стали. Использование электрода с большим временным сопротивлением, может привести к повышенным сварочным напряжениям в сварных швах. Относительное удлинение и ударная вязкость также не маловажные свойства. Минимальное значение относительного удлинения металла шва может быть несколько ниже минимального значения такой характеристики, свариваемой стали. Минимальное значение ударной вязкости электрода должно быть не ниже значения у свариваемой стали этой характеристики. При выборе электрода также рассматривают, в каких условиях потом будет работать конструкция, например, под давлением или в экстремальных условиях.

Низколегированные конструкционные стали лучше сваривать электродами типа Э42А или Э50А, так как металл шва получает дополнительное легирование за счет элементов расплавляемого основного металла и временное сопротивление его повышается до 50 кгс/мм<sup>2</sup>; при этом металл шва сохраняет высокую пластичность.

Предпочтительным типом электрода для сварки низколегированных сталей является основное, которые позволяют выдавать стабильный процесс сварки труб. Кроме этого, следует помнить, что классификация труб достаточно

обширна, поэтому выбрать лучшие электроды для труб – это вопрос некорректно поставленный. Для работы с ответственными трубопроводами следует применять электроды, рассчитанные на сложные сварочные процессы. Вышеперечисленные типы электродов отлично подходят для сваривания ответственных резервуаров; газопроводов, нефтепроводов внутри которых поддерживается высокое давление.

Электроды, имеющие основные покрытия, имеют достаточно специфический химический состав. Во время сварки с использованием основных покрытий, выделяются и сера с фосфором, однако их содержание, как правило, не превышает 0,035% каждого из них. А вот содержание марганца и кремния в процессе сварки, сильно зависит от назначения применяемого электрода, но, как правило, количество этих веществ колеблется в пределах 0,5-1,5% марганца и 0,3-0,6% кремния. Так же в них присутствует плавиковый шпат. Кроме того, в состав входят и различные ферросплавы – например, ферромарганец, ферротитан или ферросилиций. Именно поэтому, такие электроды обладают уникальными техническими и физическими свойствами, которые не имеет ни один другой электрод с каким-либо другим типом покрытия. Второй причиной использования покрытий основного вида при сварке склонных к образованию холодных трещин легированных сталей является отрицательное влияние водорода (из-за его низкого содержания) в околошовной зоне свариваемых изделий. Примером с фтористо-кальциевые покрытием могут быть электроды типы Э50А марки УОНИ 13/55. Такие электроды являются универсальными, т.к. работать ими можно при переменных нагрузках и отрицательных температурах. Применяются для сварки особо ответственных конструкций из низкоуглеродистых и низколегированных сталей.

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

### **2.1 Сравнительная характеристика электродов**

Самое главное в сварке трубопроводов это отсутствие дефектов в наплавленном металле. Иначе любая малейшая трещина со временем может привести к аварии. Поэтому выбор электродов для сварки труб является важной частью процесса и от правильности выбора электродов напрямую зависит прочность сварного шва.

Важнейшим фактором покрытых электродов является его покрытие. Покрытие выполняет множество функций в формировании сварного шва.

Электродное покрытие - это смесь, нанесенная на стальной стержень методом опрессования, состоящая из размельченных компонентов и связующих веществ [3].

В состав покрытия электродов входят легирующие элементы для придания шву специальных прочностных свойств. Ферросплавы, имеющие хорошее химическое сочетание с кислородом для восстановления окиси железа. Газообразующие и шлакообразующие компоненты для защиты наплавленного металла, создающие, либо газовую защиту дуги в виде органических веществ, либо шлак, состояющийся из полевого шпата, плавикового шпата и др. В состав покрытия добавляют щелочные и щелочноземельные металлы (натрий, калия, кальций) для стабилизации процесса зажигания и горения дуги. Также в покрытие входят компоненты пластификаторы для повышения пластичности обмазки и рафинирующие компоненты, которые выводят серу и фосфор в шлак из сварочной ванны. Большая часть составляющих покрытия может выполнять несколько функций [3].

При создании электродного покрытия, применяются различные химические элементы, каждый элемент обладает особыми характеристиками в сварной области. Например, кремний – улучшает упругость, а марганец – повышает твердость, не снижая пластичности металла шва. Содержание серы и

фосфора не должно превышать 0,05%, т.к. эти компоненты в большом количестве могут пагубно влиять на качество сварного соединения.

В научно-исследовательской работе [4], проводилось исследование структуры и эксплуатационных свойств сварных соединений стали 09Г2С, где было выявлено, что структура основного металла и металла ЗТВ сварных соединений стали 09Г2С, полученных различными методами автоматической и ручной дуговой сварки (СТТ, СПТ, СМТ) с использованием электродов и сварочных проволок различных марок по размеру и морфологии структурных элементов существенно не отличается [4].

В условиях незначительного различия в структуре металла сварного шва и ЗТВ всех изученных серий сварных соединений, уровень их механических свойств и сопротивления хрупкому разрушению при комнатной и пониженной температурах определяется технологией получения сварного соединения и типом электрода или сварочной проволоки [4].

Исходя из этого, можно сделать вывод, что для получения качественного сварного шва, необходима правильно рассчитать и выполнить технологию сборки и сварки соединения, а также крайне ответственно подойти к выбору типа и марки электрода.

Ассортимент таких электродов очень многообразен. Электроды для сварки выбирают по их различным параметрам, но далеко не самую последнюю роль играет имя производителя. Каждая марка обладает различными свойствами и сочетанием, которые обеспечивают необходимые требования.

Номенклатура, качество электродов различных производителей в РФ, а также механические свойства сварных соединений, полученных с их использованием, существенно различаются, хотя в рекламных изданиях их характеристики почти всегда соответствуют действующим стандартам [6].

При выборе электродов очень важно получить необходимые сварочно-технологические свойства, которые определяются по механическим свойствам:

ударной прочности, относительному удлинению и прочности на растяжение. Также важным фактором при выборе покрытых электродов является скорость их наплавки. Высокопроизводительные электроды предпочтительнее в производственной среде, а также должны быть подходящими по состоянию поверхности покрытия электрода.

В статьях о сварке низколегированных сталей очень часто упоминаются марка электродов УОНИ 13/55. Электроды УОНИ 13/55 применяются для сварки особо ответственных металлоконструкций, работающих под динамическими нагрузками в условиях большого спектра температур, а также сосудов, работающих под давлением. Может производиться сварка металла большой толщины и применяться для заварки дефектов литья. Сварку рекомендуется производить короткой дугой методом опирания. Допускается сварка электродами УОНИ 13/55 во всех пространственных положениях шва постоянным током обратной полярности. Также наплавленный металл характеризуется низким содержанием водорода. Электроды склонны к образованию пор при сварке по окисленным поверхностям и удлинению дуги [5].

Проведем сравнение электродов различных производителей, взглянем на различия в ожидаемом химическом составе металла шва, т.к. от него напрямую зависят эксплуатационная и технологическая прочность шва.

В качестве исследуемых марок возьмем электроды от следующих производителей: ESAB, СпецЭлектрод, Monolith, Lincoln Electric, МЭЗ, ЛЭЗ, СЗСМ и TIGARBO.

Заявленный химический состав предоставлен в Таблице 1:

Таблица 1 – Химический состав электродов

Производитель	<i>C</i> , %	<i>Mn</i> , %	<i>Si</i> , %	<i>S</i> , %	<i>P</i> , %
ESAB	0,07	1,35	0,50	0,025	0,025
СпецЭлектрод	0,09	1,05	0,42	0,018	0,021

Продолжение таблицы 1

Monolith	0,09	1,10 – 1,50	0,40 – 0,70	0,020	0,030
Lincoln Electric	0,11	0,60 – 1,20	0,20 – 0,50	0,030	0,035
МЭЗ	0,10	0,60 – 1,20	0,20 – 0,50	0,030	0,035
ЛЭЗ	0,09 – 0,12	0,70 – 1,20	0,20 – 0,50	0,030	0,030
СЗСМ	0,10	0,90 – 1,50	0,25 – 0,60	0,030	0,030
TIGARBO	0,10	0,80	0,30	0,040	0,040

где *C* – углерод;

*Mn* – марганец;

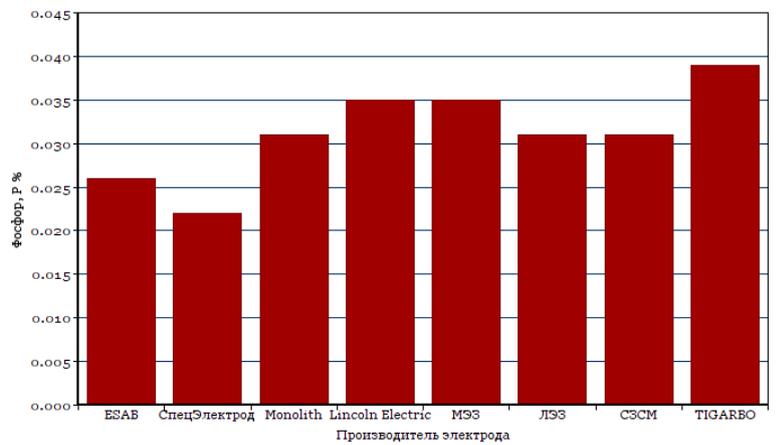
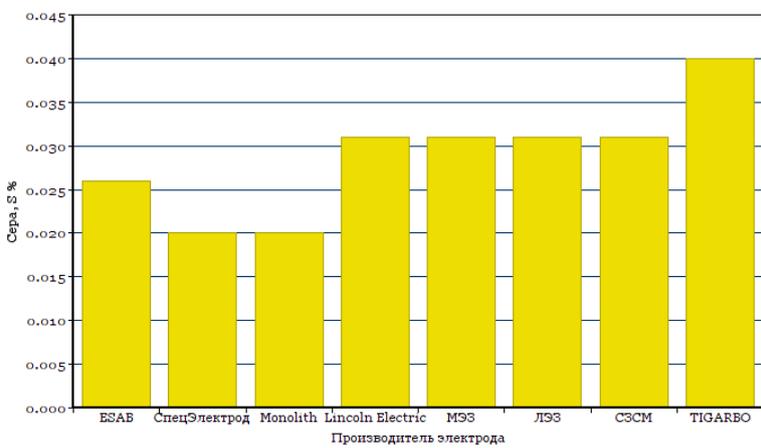
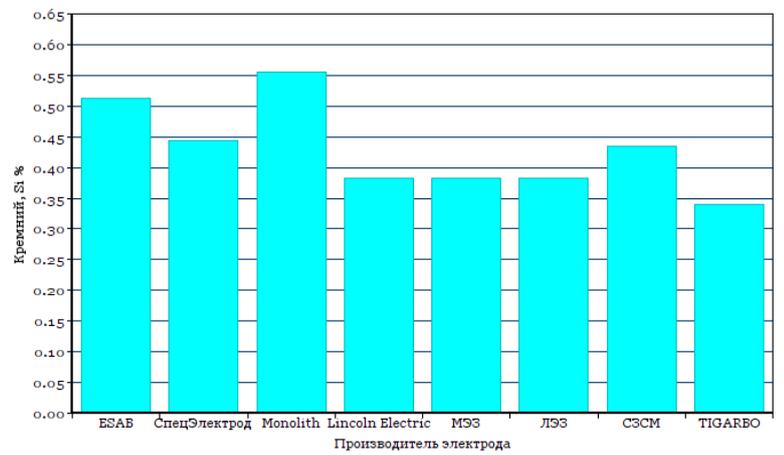
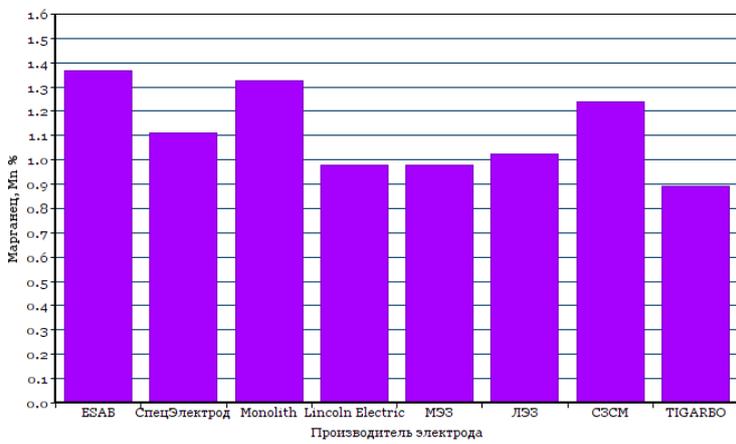
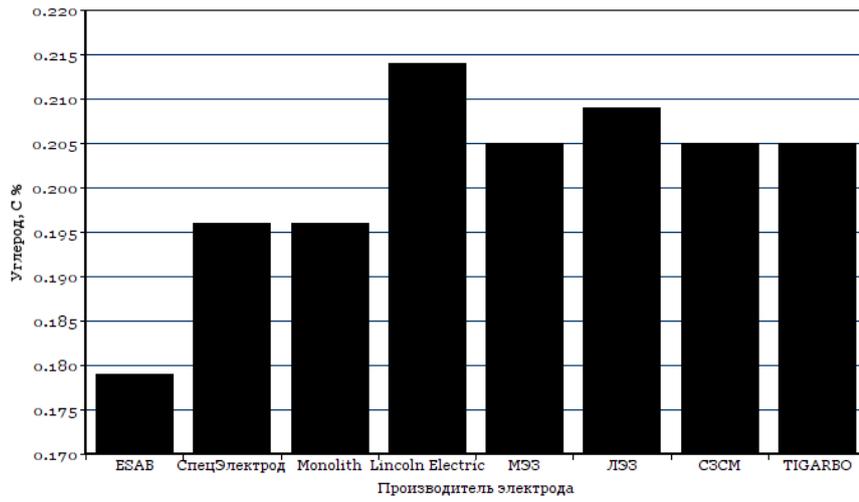
*Si* – кремний;

*S* – сера;

*P* – фосфор.

Далее, рассчитаем ожидаемый химический состав металла шва по разработанной технологии из пункта 3.2.7 «Ожидаемый химический состав металла шва» сварки стали 09Г2С и электродами УОНИ 13/55 от различных производителей (значения, представленные в диапазоне усредняем).

Для наглядности переведем все полученные результаты в диаграммы:



Сварочно-технологические свойства исследованных электродов, по отзывам пользователей и профессиональных сварщиков представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Сварочно-технологические свойства электродов

Производитель	Потери на разбрызгивание	Качество шва	Легкость зажигания	Стабильность дуги
ESAB	умеренные	4,6	3,4	4
СпецЭлектрод	незначительные	3,5	2,8	3,4
Monolith	незначительные	-	-	-
Lincoln Electric	-	-	-	-
МЭЗ	умеренные	3,9	3,4	3,7
ЛЭЗ	умеренные	3,6	2,9	3
СЗСМ	незначительные	4,1	3,2	3,9
TIGARBO	умеренные	-	-	-

Анализируя результаты, заметно, что некоторые электроды имеют меньший процент кремнемарганцевого соединения и увеличенное содержание серы, что существенно влияет на прочностные характеристики металла сварного шва. Также на сварочно-технологические свойства могут влиять и другие компоненты покрытия электродов. Присадочный металл в своем составе содержит небольшое количество вредных примесей, а такая характеристика шва, как пластичность сохраняется даже при сильных морозах. Сам шов получается более пластичным, чем при сварке распространенными типами рутиловых электродов. Обратная сторона медали – это повышенная чувствительность к влажности и затрудненный розжиг: варить такими электродами заметно труднее.

Еще одной часто упоминаемой маркой является сварочные электроды ОК производства ESAB, является одними из самых известных марок и применяются для сварки широкого наименования сталей и сплавов. Электроды марки ОК

обеспечивают стабильное горение дуги и позволяет производить сварку во всех пространственных положениях.

Для сварки трубопроводов подходят электроды ОК 53.70 и ОК 74.70 они предназначены для проварки корня шва, заполняющих и облицовочного слоя шва стыков труб. Отдельно стоит отметить марку ОК 46.00, которая является универсальным электродом с рутиловым покрытием для сварки конструкций из низколегированных сталей во всех пространственных положениях на постоянном токе обратной полярности и переменном токе.

Электроды шведского бренда ОК 46.00 очень хорошо поджигаются даже по ржавой или частично окрашенной поверхности (можно несколько раз подряд) что хорошо для сварки короткими швами, прихваток и сварке с периодическими обрывами дуги. Имеют минимальное разбрызгивание. Легко снимается шлак. Сами по себе достаточно эластичные, тем самым покрытие электрода не растрескивается. Имеет приемлемую стоимость по соотношению цена-качество. Подходит для работы как профессиональным мастерам, так и неопытным обывателям. Производителем в России является Санкт-Петербургский завод сварочных материалов «ЭСАБ-СВЭЛ». Их продукция пользуется высоким спросом не только в России, но и в СНГ, что говорит нам об их исключительном качестве. Также есть производитель «ЭСАБ-Тюмень», который неохотно пользуется популярностью среди сварочных мастеров, т.к. качество их производства не дотягивает до Питерского предприятия хоть и заявлена одна технология изготовления.

Эти электроды своим качеством очень хорошо известны и популярны в сварочной среде и из-за этого имеют огромное число «подражателей». Которые слегка изменяя аббревиатуру (ОК46, ОК-46) и используя те же «Эсабовские» цвета, заявляются как аналог шведским электродам за меньшую стоимость.

В 2020г. Журнал [7] провел тест, где сравнил электроды ОК 46 от производителей ESAB, «Ватра» и Inforce. Для корректной оценки проводили

тест следующим образом: сварщик получает электроды и варит швы, не зная, каким электродом он работает в конкретном случае. Он варит швы двух типов (тавр и внахлест), электродами разного диаметра (3 и 4 мм), двумя аппаратами (ESAB LHN 200i Plus и «Ресанта» САИ 220, близкими по заявленной величине максимального сварочного тока).

Для оценки было выбрано 12 критериев, по каждому из которых предполагается поставить оценку по 10-балльной шкале. Например, критерий устойчивости дуги. Если дуга постоянно отклоняется и трепещет, то ставится минимальная оценка 1. Если дугой можно легко работать, и она стабильно предсказуема то ставится максимальная оценка 10. Также в список критериев входит поджиг дуги (оценивается возможность зажигания дуги), растяжимость дуги (оценивается возможность удлинения дуги без перебоев), перенос металла электрода (прилипание электрода или плавный процесс переноса мелкими каплями металла), перенос шлака (отсутствия смешивания с металлом, вязкость и прозрачность шлака), плавление покрытия (плавление электродного покрытия без образования кусков в шлаковую ванну), брызги вокруг шва (разбрызгивание на поверхность металла), распределение шлака (равномерное или неравномерное), отделение шлака, вид шва (отсутствие дефектов и вид мелкой «чешуи»), смачивание краёв шва (отсутствие глубоких подрезов, вогнутый или плоский шов с плавным переходом по всей длине), симметрия шва (симметричность шва по всей длине сварочного соединения).

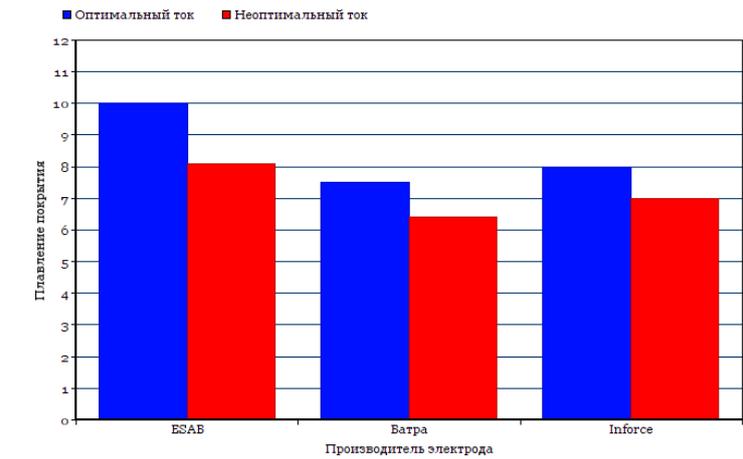
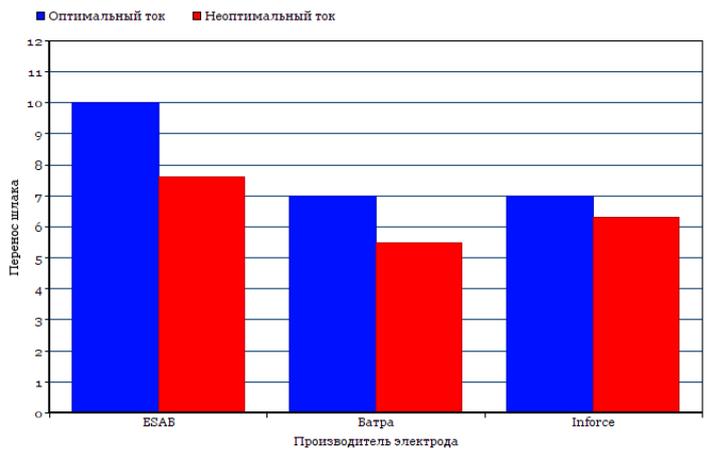
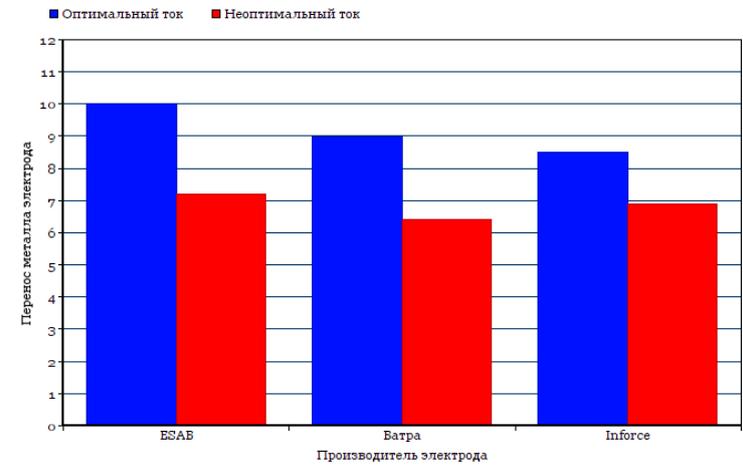
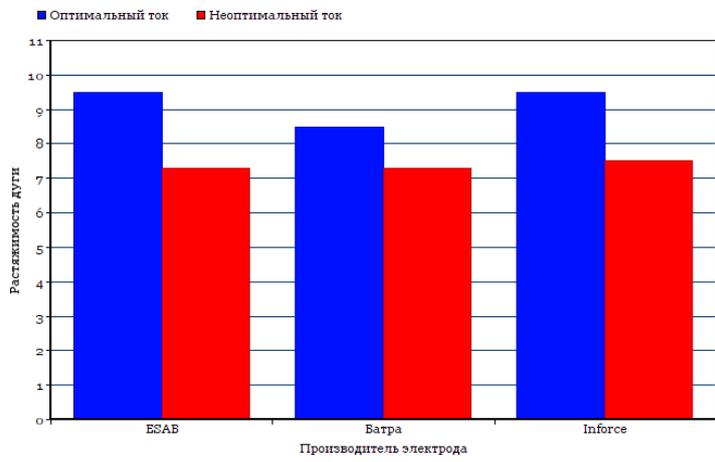
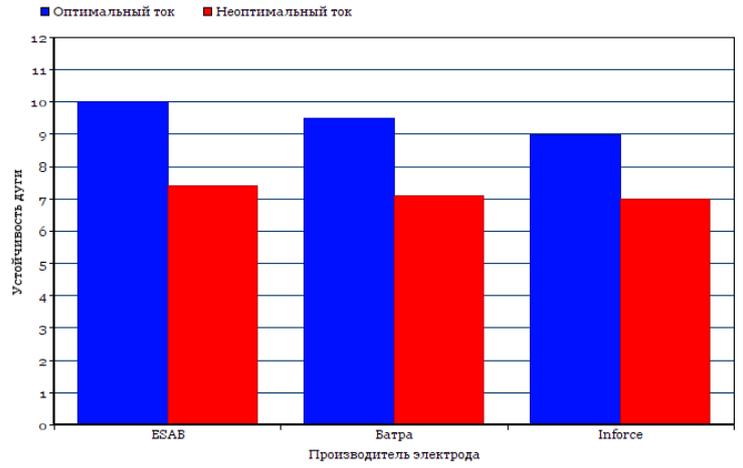
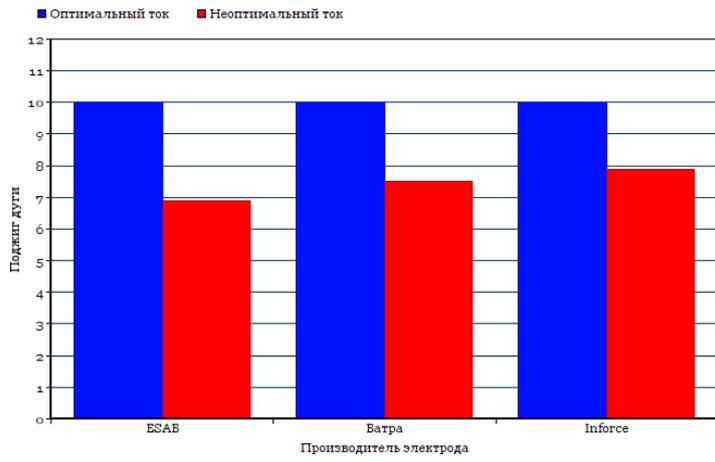
Например, поведение жидкого шлака, которая очень сильно разнится на оптимальном и неоптимальном токе. Оценка 10 – равномерно нанесен и полностью покрывает ванну, оценка 7 – шлак мутноват, не идеально растекается по шву, но допустимо.

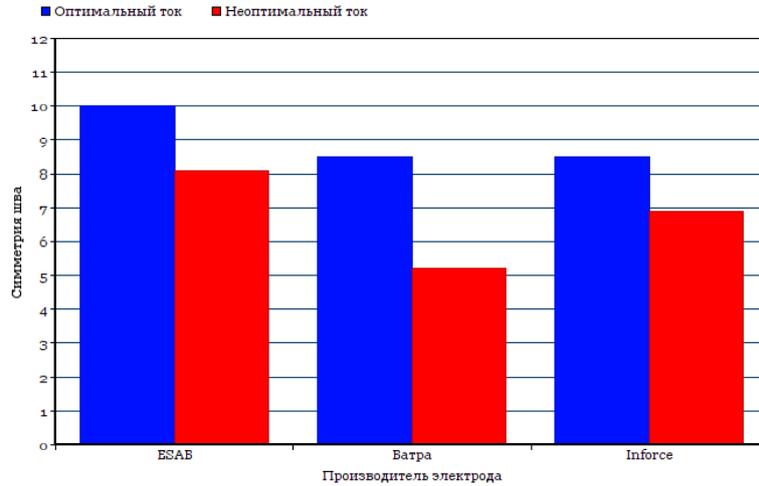
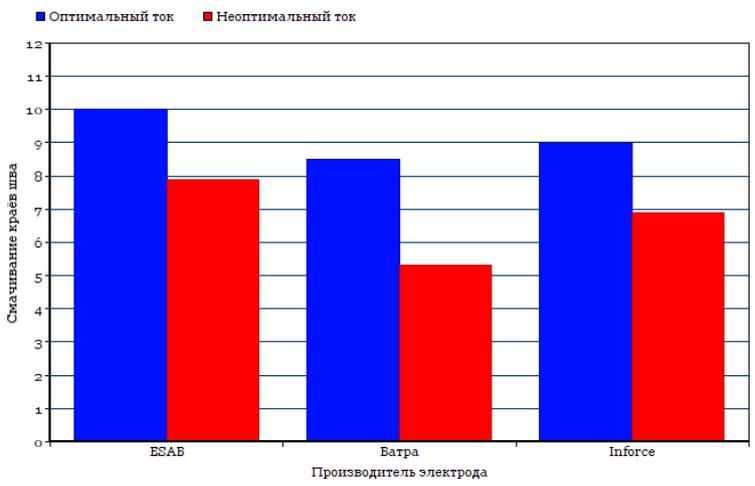
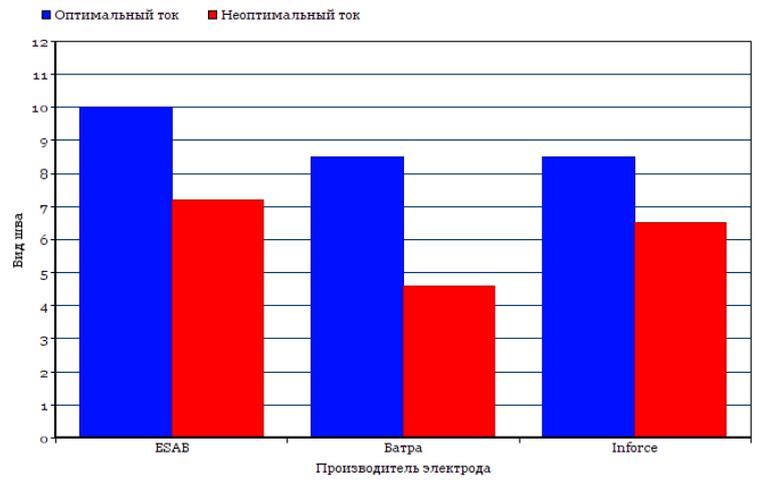
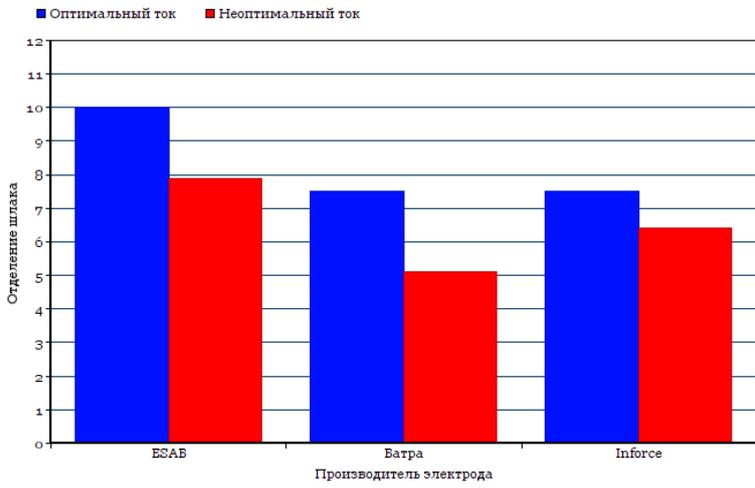
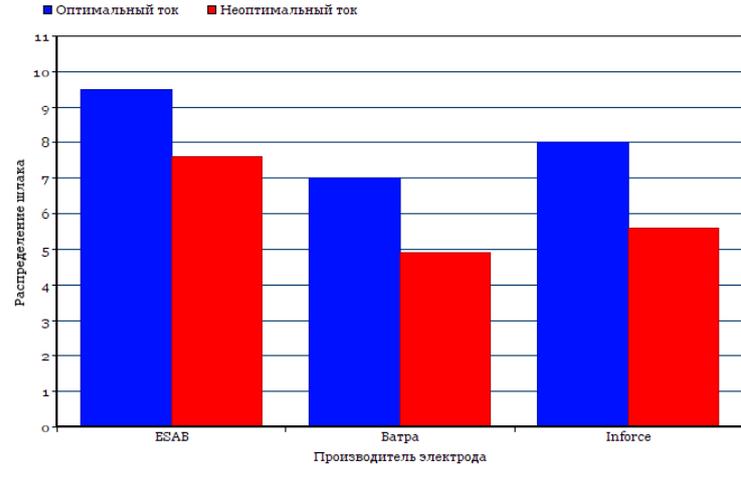
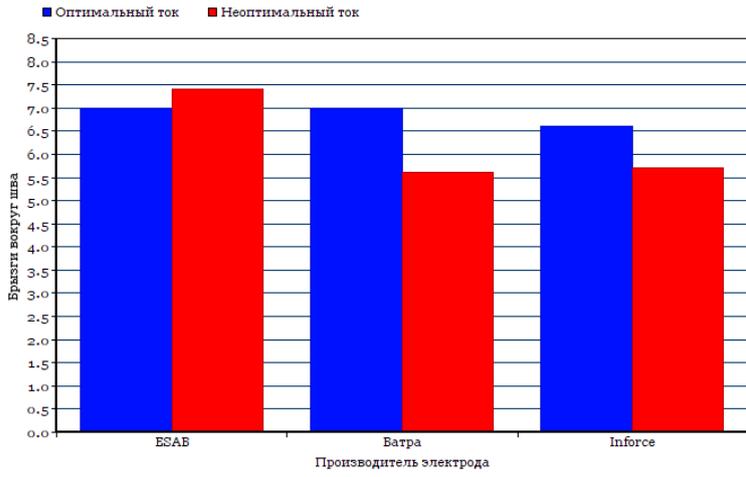
Тест проводился на оптимальном и неоптимальном токе. Получили следующие результаты:

Таблица 3 – результаты теста

Критерии оценки	ESAB		«Ватра»		Inforce	
	Опт. ток	Неопт. ток	Опт. ток	Неопт. ток	Опт. ток	Неопт. ток
Поджиг дуги	10	6,9	10	7,5	10	7,9
Устойчивость дуги	10	7,4	9,5	7,1	9	7
Растяжимость дуги	9,5	7,3	8,5	7,3	9,5	7,5
Перенос металла электродом	10	7,2	9	6,4	8,5	6,9
Перенос шлака	10	7,6	7	5,5	7	6,3
Плавление покрытия	10	8,1	7,5	6,4	8	7
Брызги вокруг шва	7	7,4	7	5,6	6,5	5,7
Распределение шлака	9,5	7,6	7	4,9	8	5,6
Отделение шлака	10	7,9	7,5	5,1	7,5	6,4
Вид шва	10	7,2	8,5	4,6	8,5	6,5
Смачивание краёв шва	10	7,9	8,5	5,3	9	6,9
Симметрия шва	10	8,1	8,5	5,2	8,5	6,9

Для большей наглядности и подведения итогов переведем эти оценки в диаграммы и взглянем на разницу в графическом отображении:





Главной составляющей покрытого электрода является химический состав покрытия. Химический состав металла шва оказывает влияние на его структуру и механические свойства, от него зависят эксплуатационная и технологическая прочность шва.

Исходя из пункта 3.2.7 «Ожидаемый химический состав металла шва» по рассчитанной технологии, можем рассчитать ожидаемый химический состав металла шва стали 09Г2С электродами ОК 46.00 от производителя ESAB.

Химический состав металла сварного шва полностью однороден в пределах одного слоя. Соответственно поэтому в расчете химического состава шва или слоя берется во внимание доля участия основного металла сварного шва [1]:

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

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

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

$[R]_э$  – процентное содержание элемента в наплавленном металле электродами выбранной марки;

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

$\gamma_0 = 0,132$  – доля участия основного металла в металле шва;

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

Для расчета оценки ожидаемого химического состава металла шва необходимо использовать химический состав стали 09Г2С и наплавленного электродного металла электродами ОК 46.00 от ESAB.

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

– углерода (*C*)

$$[R]_{ш} = 0,9 \cdot 0,132 + (1 - 0,132) \cdot 0,08 = 0,188 \ %;$$

– марганца (*Mn*)

$$[R]_{ш} = 1,5 \cdot 0,132 + (1 - 0,132) \cdot 0,40 = 0,545 \ %;$$

– кремния (*Si*)

$$[R]_{ш} = 0,6 \cdot 0,132 + (1 - 0,132) \cdot 0,30 = 0,339 \ %;$$

– серы (*S*)

$$[R]_{ш} = 0,04 \cdot 0,132 + (1 - 0,132) \cdot 0,03 = 0,031 \ %;$$

– фосфора (*P*)

$$[R]_{ш} = 0,035 \cdot 0,132 + (1 - 0,132) \cdot 0,03 = 0,030 \ %.$$

Химический состав легирующих элементов в электродах от других производителей частично отличается, зачастую процент углерода (*C*) варьируется в диапазоне 0,08-0,11, марганца (*Mn*) в диапазоне 0,50-0,60 (заметно выше чем у ESAB), кремния 0,10-0,20 (заметно ниже чем у шведского производителя).

Технические характеристики приблизительно схожи, но на практике имеющие свои недостатки. Это не продукция аналогичного качества. Конечно ими тоже можно варить, но до уровня «оригинала» они не дотягивают. Для сварки ответственных металлоконструкций не рекомендуются. Электроды имеют схожие показатели в поджиге дуги, устойчивости дуги и разбрызгов вокруг шва. Минимальные различия установлены в растяжимости дуги, переносе металла электрода. В остальных показателях разница заметно выше.

Отдельного внимания заслуживает японская марка электродов LB-52U. Относительно недавно появившаяся разработка уже используется большим спросом у ведущих мировых компаний, в том числе и российских, для проведения сварных работ при прокладке магистральных трубопроводов. Шов, который формируется при сварке этим электродом, признается многими

специалистами и сварщиками по всему миру. При работе с данными электродами формируется равномерный чешуйчатый валик, наплавляемый металл имеет высокое качество. Полученный шов имеет высокие показатели ударной вязкости и устойчивости к растрескиванию. Достаточно легко зажигается, не смотря на то что имеет основной вид покрытия, имеет минимальное разбрызгивание и повышенное проплавление.

Может применяться для сварки объектов, эксплуатируемых в условиях как низких, так и средних и высоких температур. Российская компания «Газпром» имеет отдельный перечень рекомендаций по использованию марки электродов LB-52U - СТО Газпром 2-2.2-115-2007 [10]. Также немаловажным преимуществом электродов LB-52U является то, что они обеспечивают стабильное горение дуги и лучшее проплавление по сравнению с электродами других марок с низким уровнем водорода. Рекомендуется прокалывать перед использованием. Недостатки свойственные электродам с основным покрытием: затруднен повторный поджиг, варить только на короткой дуге, обязательно варить на оптимальном токе. Высокая цена.

Исходя из пункта 3.2.7 «Ожидаемый химический состав металла шва» по рассчитанной технологии, можем рассчитать ожидаемый химический состав металла шва стали 09Г2С электродами LB-52U.

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

– углерода (C)

$$[R]_{ш} = 0,9 \cdot 0,132 + (1 - 0,132) \cdot 0,06 = 0,170 \%$$

– марганца (Mn)

$$[R]_{ш} = 1,5 \cdot 0,132 + (1 - 0,132) \cdot 1,02 = 1,083 \%$$

– кремния (Si)

$$[R]_{ш} = 0,6 \cdot 0,132 + (1 - 0,132) \cdot 0,51 = 0,521 \%$$

– серы (*S*)

$$[R]_{ш} = 0,04 \cdot 0,132 + (1 - 0,132) \cdot 0,006 = 0,011 \ %;$$

– фосфора (*P*)

$$[R]_{ш} = 0,035 \cdot 0,132 + (1 - 0,132) \cdot 0,011 = 0,014 \ %.$$

Заметным отличием является меньшее количество углерода (*C*), серы (*S*) и фосфора (*P*), по сравнению с другими марками электродами. Химический состав изделий гарантирует высокую степень надежности сварного шва металлических деталей высокопрочных марок. Японское качество электродов LB-52U гарантирует высокий уровень сварочных работ. Линейка данных изделий является одной из самых востребованных среди профессионалов.

Далее, рассмотрим еще одну популярную марку на рынке сварочных электродов – это рутиловые электроды MP-3. Данные электроды содержат 95% рутила, некоторое количество карбонатов и немного целлюлозы, а в качестве раскислителя - ферромарганец. Взаимодействие всех этих веществ в процессе сварки обеспечивает умеренные характеристики сварного шва несколько ниже, чем с основными покрытиями. Электроды повсеместно применяются при монтаже ответственных конструкций из низколегированных сталей, когда необходима повышенная прочность соединений. В линейке производителей сразу стоит отметить шведского флагмана сварочной отрасли – ESAB, который держит планку и качеством электродов MP-3. Получаемое соединение сваркой этими электродами характеризуется высокой прочностью, легко поджигаются даже при повторном зажигании и выдают стабильное горение дуги. Благодаря рутиловому покрытию шов надежно защищен от попадания в него шлака и окисления. Также для MP-3 характерно малое разбрызгивание металла, а значит в равной степени подходит как для сварки, так и для прихваток. Минусы данной марки все та же высокая цена, достаточно высокий расход материала на 1 кг шва. Крайне важно установить нужную силу тока – в противном случае есть риски образования пор в металле шва. Отдельно следующим производителем стоит

отметить МР-3 от латвийского производителя РЕСАНТА. Данные электроды в разы дешевле шведских аналогов, но ничем не уступают им в качестве. Пользуются большим спросом среди потребителей в стране т.к. выдают стабильное горение дуги в любом положении, имеют минимальное разбрызгивание и хорошую обмазку электрода в целом. Подойдет как для начинающих, так и для опытных сварочных работников. Также можно отметить МР-3 от MONOLITH и белорусского производителя – АРСЕНАЛ, по качеству которые схожи с электродами от РЕСАНТА и также отличаются приемлемой ценой на рынке. Российские производители такие как: Inforce, МЭЗ, СпецЭлектрод, Gigant и многие другие показывают примерно идентичные свойства сварного соединения. Имеют недостатки свойственные электродам с рутиловым покрытием, а именно большое образование шлака и его трудное отбивание. Могут попадаться электроды с неравномерной обмазкой, из-за чего нарушается стабильность горения дуги. Могут возникнуть проблемы с повторным разжиганием.

## **2.2 Материал сварной конструкции**

Труба изготовлена из стали 09Г2С (таблица 1 и 2). Класс стали К50. Расшифровка стали 09Г2С: «09» означает процентное содержание углерода 0,09%, буквы «С» и «Г» говорят о том, что в составе сплава имеется марганец и кремний. Низколегированная сталь 09Г2С одна из самых распространенных сталей для производства металлоконструкций, резервуаров, трубных изделий и т.д. В ее составе очень мало углерода, что хорошо сказывается на свариваемости, описание которой в следующем пункте. Также к преимуществам относятся отсутствие хрупкости, высокая прочность и сохранение механических характеристик при большом диапазоне температур, что позволяет использовать изделия из нее на нефтяных и газовых объектах, расположенных в регионах с суровым климатом.

Таблица 4 – Химический состав стали 09Г2С по ГОСТ 19282-73 [11]

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

Таблица 5 – Механические свойства стали 09Г2С по ГОСТ 10705-80 [12]

$\sigma_T$ , МПа	$\sigma_B$ , МПа	$\delta$ , %	КСУ, Дж/см <sup>2</sup>
345	490	21	78

Свойства низколегированных сталей позволяют снизить массу металлических конструкций, сэкономить металл за счет высокого предела текучести, повысить эксплуатационные характеристики конечного изделия.

### 2.3 Оценка технологической свариваемости материала

На свариваемость стали влияет химический состав стали. Значительное влияние оказывает углерод. Углерод прямо влияет на механические свойства стали, но его высокое содержание ухудшает способность стали к свариваемости, а также приводит к образованию закалочных структур. Чем выше содержание углерода в свариваемой стали, тем больше опасность образования трещин.

Ориентировочным количественным показателем свариваемости стали известного состава является эквивалентное содержание углерода по Европейскому стандарту, которое определяется по формуле:

$$C_{\text{эк}} = \left( C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr+Mo+V}{5} + \frac{Ni+Cu}{15} \right) \% \quad (2)$$

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

В зависимости от эквивалентного содержания углерода и связанной с этим склонности к закалке и образованию трещин стали по свариваемости делят на четыре группы: хорошо, удовлетворительно, ограниченно и плохо сваривающиеся.

Низколегированные стали чаще относятся к сталям с хорошей свариваемостью, не образуя дефектов в различных режимах, а также закалочных структур в том же диапазоне.

Определим  $C_{\text{эк}}$  для стали 09Г2С по формуле (1):

$$C_{\text{эк}} = \left( 0,09 + \frac{1,5}{6} + \frac{0,3}{5} + \frac{0,6}{15} + \right) = 0,19\%$$

Определим размерный эквивалент углерода по формуле, указанной в:

$$C_p = 0,005 * S * C_{\text{эк}} \quad (3)$$

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

$$C_p = 0,005 * 10 * 0,19 = 0,0095$$

Находим суммарный эквивалент углерода:

$$\Sigma C_{\text{эк}} = C_{\text{эк}} + C_p \quad (4)$$

Подставляем значения и получаем:

$$\Sigma C_{\text{эк}} = 0,46 + 0,023 = 0,1995 \%$$

Расчетным способом получаем что сталь 09Г2С сваривается без ограничений и сопутствующего подогрева.

## 2.4 Выбор оборудования для сварки

Для ручной дуговой сварки покрытыми электродами выберем сварочный выпрямитель LINCOLN ELECTRIC IDEALARC DC – 400. Данный источник питания представляет из себя трехфазный трансформатор-выпрямитель с тиристорным управлением, осуществляемым одним потенциометром плавной регулировки выходной мощностью во всем ее диапазоне. Универсальная модель, с жесткой и подающей внешней вольтамперной характеристикой. Довольно

надежный источник питания для сварки в защитном газе, порошковой проволокой, сварки под флюсом, РДС, аргодуговой сварки на постоянном токе и электро – дуговой строжки [14].

Основные технические характеристики источника питания представлены в таблице 6.

Таблица 6 – Технические характеристики выпрямителя LINCOLN ELECTRIC IDEALARC DC – 400 [14]

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

### 3 Разработка технологии изготовления конструкции

#### 3.1 Выбор формы подготовки свариваемых кромок

Для выбора формы подготовки свариваемых кромок, для расчета режимов сварки, для расчета расхода сварочных материалов необходимо выбрать диаметр и толщину изготавливаемой трубы. Для этого выбираем трубу диаметром 159x10 мм из стали 09Г2С. В последствии рассмотрим технологию сварки.

Если требуется обеспечить полное проплавление на всё сечение детали, то практически всегда требуется выполнить скос свариваемых кромок в зависимости от пространственного положения сварки – разделку. К параметрам разделки относят: зазор между свариваемыми деталями после прихватки, угол скоса и разделки кромок, значение притупления и т. д. Тип сварного соединения и порядковый номер сварного шва необходимо определить при помощи ГОСТ 16037-80 [13].

Вид соединения: стыковой. Способ подготовки: механический.  
Конструкция разделки кромок: V – обр. представлен на рисунке 1:

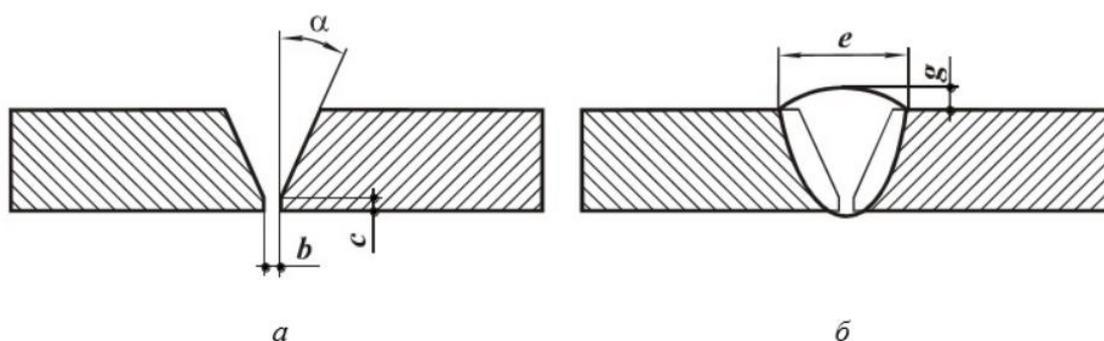


Рисунок 1 - Конструктивные элементы и размеры

где а – подготовка кромок свариваемых деталей;

б – сварной шов;

$\alpha$  – угол скоса кромок;

$b$  – зазор между кромками свариваемых деталей после прихватки;

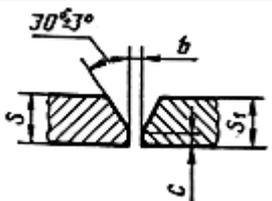
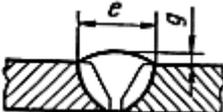
c – притупление кромки;

e – ширина сварного шва;

g – выпуклость сварного шва.

В таблице 7 приведены конструктивные элементы и размеры подготовленных кромок свариваемых деталей и сварного шва для типа соединения С17 по ГОСТ 16037-80 [13] для толщины свариваемых деталей равной 10 мм.

Таблица 7 – Конструктивные элементы и размеры (мм) сварного соединения по ГОСТ 16037-80 [13]

Условное обозначение сварного соединения	Конструктивные элементы		S=S <sub>1</sub>	b	c	e	g
	Подготовленных кромок свариваемых деталей	Сварного шва					
C17			10	2 <sup>+1</sup>	1 <sup>+0,5</sup> <sub>-0,5</sub>	16 <sup>+4</sup>	2 <sup>+2</sup> <sub>-1,5</sub>

### 3.2 Расчет параметров режима сварки

Определение и расчёт остальных параметров режима сварки обычно начинают с выбора диаметра электрода, так как он в значительной мере определяет другие параметры. Диаметр электрода подбирают в зависимости от толщины свариваемого изделия. Слишком большой диаметр электрода может повлиять на плотность сварочного тока и уменьшить глубину провара. При многопроходных швах сварку всех проходов стремятся выполнить на одних и

тех же режимах. Исключением является первый проход. При сварке многослойных или многопроходных швов первый проход (корень шва) выполняется электродами диаметром до 3,25 мм включительно, так как применение электродов большого диаметра затрудняет провар и формирование корня шва. При выполнении последующих слоев назначают больший сварочный ток для выбранного пространственного положения, чтобы обеспечить максимальную производительность сварочных работ.

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

### 3.2.1 Определение сварочного тока

Важнейшим параметром при ручной дуговой сварке является сила сварочного тока. От силы сварочного тока напрямую зависит производительность сварки и качество сварного шва в целом. Расчёт сварочного тока при сварке покрытыми электродами производится по диаметру электрода и допускаемой плотности тока [8]:

$$I_{св} = \frac{\pi d_3^2}{4} j \quad (5)$$

где  $d_3$  – диаметр электродного стержня, мм;

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

На скорость плавления электрода и плотность тока из-за различной теплопроводности и характера прохождения металлургических процессов вид покрытия оказывает значительное влияние [8].

От вида покрытия и диаметра электрода зависит допустимая плотность тока. При увеличении диаметра электрода уменьшается допустимая плотность тока, потому что интенсивность охлаждения покрытия и электродного стержня снижается [8].

Не обеспечивается стабильного плавления основного и электродного металла при недостаточной величине сварочного тока, а также происходит неустойчивое горение дуги. При завышенном значении сварочного тока увеличиваются потери на угар и разбрызгивание, так как электрод плавится слишком интенсивно, помимо этого ухудшается качество формирования шва и устойчивость дуги. Также при большом значении силы тока получают высокие значения погонной энергии, что ведет к увеличению тепловложения, которое не всегда желательно. В начале и в конце процесса скорость плавления электродного металла отличается более чем на 30% [8].

Допустимая плотность тока при сварке электродами с основным типом покрытия [8]:

при  $d_{\text{э}} = 3$  мм:  $j = 13 \dots 18,5$  А/мм<sup>2</sup>;

при  $d_{\text{э}} = 4$  мм:  $j = 10 \dots 14,5$  А/мм<sup>2</sup>.

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

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

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

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

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

принимаем  $I_{\text{св}} = 150$  А.

### 3.2.2 Напряжение на дуге

Напряжение на дуге при дуговой сварке покрытыми электродами изменяется в пределах 20...34 В. Напряжение напрямую влияет на длину сварочной дуги и ее устойчивость.

Для приближённого расчёта напряжения на дуге используем следующее выражение:

$$U_d = 20 + 0,04 \cdot I_{св} \quad (6)$$

Недостаток формулы заключается в том, что в ней не учитывается тип, толщина электродного покрытия, длина дуги во время сварки, которая колеблется в пределах  $0,5dэ \leq l_d \leq 1,5dэ$ . Можно считать, что рассчитанное по формуле значение напряжения дуги относится к электродам с покрытием кислого и рутилового типа. Значение напряжения дуги для электродов с основным типом покрытия целесообразно увеличить до 5%; для электродов с целлюлозным типом покрытия соответственно на 5 ... 10 % [8].

Определим значение напряжения дуги для заварки корневого слоя сварного шва:

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

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

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

$$U_d = 20 + 0,04 \cdot 150 = 26 \text{ В},$$

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

### 3.2.3 Определение числа проходов

Число проходов при сварке определяется с рассчитанным значением площади поперечного сечения наплавленного металла (рисунок 2).

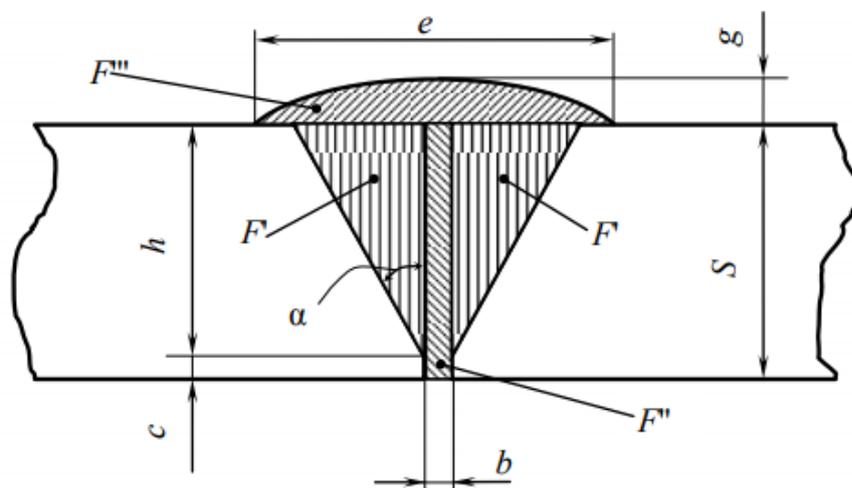


Рисунок 2 - Геометрические элементы площади сечения шва

Размеры сварного шва уточняются по стандартам и берутся номинальные значения.

Площадь наплавки обычно находят как сумму площадей элементарных геометрических фигур:

$$F_H = 2 * F' + F'' + F''', \text{ или } F_H = h^2 \cdot \tan \alpha + b \cdot S + 0,75 \cdot g \cdot e \quad (7)$$

Определим площадь наплавки с использованием данных из таблицы 3:

$$F_H = 9^2 \cdot \tan 30 + 2 \cdot 10 + 0,75 \cdot 2 \cdot 16 = 90,76 \text{ мм}^2$$

При сварке швов стыковых соединений площадь поперечного сечения металла, наплавляемого за один проход, при которой обеспечиваются оптимальные условия формирования, должна составлять не более,  $\text{мм}^2$ :

- для первого прохода (при сварке корня шва)  $F_1 = (6 \dots 8) \cdot d_3$ ;
- для последующих проходов  $F_n = (8 \dots 12) \cdot d_3$ .

Воспользуемся данной формулой для определения площади поперечного сечения корневого слоя сварного шва:

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

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

$$F_n = (8 \dots 12) \cdot d_{\text{э}} = 10 \cdot 4 = 40 \text{ мм}^2.$$

После расчёта площади поперечного сечения наплавленного металла и площади поперечного сечения наплавленного металла, найдем необходимое число проходов для обеспечения заданной геометрии шва:

$$n = \frac{F_{\text{н}} - F_1}{F_{\text{п}}} + 1 \quad (8)$$

Вычисляем и получаем следующее значение:

$$n = \frac{F_{\text{н}} - F_1}{F_{\text{п}}} + 1 = \frac{90,76 - 24}{40} + 1 = 2,7.$$

Округляем в большую сторону, и назначаем 3 прохода для сварки стыка труб.

### 3.2.4 Скорость сварки

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

$$V_{\text{св}} = \frac{\alpha_{\text{н}} I_{\text{св}}}{3600 \cdot \gamma \cdot F_{\text{н}}} \quad (9)$$

где  $\alpha_{\text{н}}$  – коэффициент наплавки, выбранного электрода, находится по каталогам на сварочные материалы, г/(А·ч); примем 9,5

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

$F_{\text{н}}$  – площадь поперечного сечения наплавленного металла за данный проход, см<sup>2</sup>;

$\gamma$  – плотность наплавленного металла за данный проход, г/см<sup>3</sup>; примем 7,8.

Скорость сварки может изменяться в зависимости от количества наплавленного металла. Поэтому для каждого прохода необходимо рассчитывать скорость сварки при изменении значения силы сварочного тока и площади поперечного сечения наплавленного металла [8].

При помощи полученных ранее значений, определим скорость сварки для корневого слоя шва по формуле (9):

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

При помощи полученных ранее значений, определим скорость сварки для последующих слоев шва по формуле (9):

$$V_{CB} = \frac{\alpha_H \cdot I_{CB}}{3600 \cdot \gamma \cdot F_H} = \frac{9,5 \cdot 150}{3600 \cdot 7,8 \cdot 40 \cdot 10^{-2}} = 0,127 \text{ см/с} = 4,57 \text{ м/ч}$$

### 3.2.5 Определение погонной энергии при сварке

Погонная энергия - энергия, затраченная на единицу длины сварного шва при сварке плавлением. Значение погонной энергии определяется по следующей формуле (Дж·с/см)

$$q_{\Pi} = \frac{q_{\text{эф}}}{V_{CB}} = \frac{I_{CB} U_d \mu_{\text{И}}}{V_{CB}} \quad (10)$$

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

$I_{CB}$  – ток сварочной дуги, А;

$U_d$  – напряжений на дуге, В;

$\mu_{\text{И}}$  – эффективный КПД нагрева изделия дугой, для дуговых методов сварки находится в пределах 0,6...0,9: покрытыми электродами на постоянном токе 0,75...0,85; на переменном токе КПД нагрева имеет значения 0,65...0,75;

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

Обычно для обозначения погонной энергии используется размерность (Дж/см).

При помощи полученных ранее значений, определим значение погонной энергии при сварке корневого слоя по формуле:

$$q_{п} = \frac{I_{св} U_{д} \mu_{И}}{V_{св}} = \frac{100 \cdot 24 \cdot 0,8}{0,141} = 13617 \text{ Дж/см}$$

При помощи полученных ранее значений, определим значение погонной энергии при сварке последующих слоев по формуле:

$$q_{п} = \frac{I_{св} U_{д} \mu_{И}}{V_{св}} = \frac{150 \cdot 25 \cdot 0,8}{0,127} = 23622 \text{ Дж/см}$$

### 3.2.6 Определение глубины проплавления

Глубину проплавления можно рассчитать по следующей формуле:

$$r = \sqrt{\frac{2 \cdot q_{п}}{\pi \cdot e \cdot C_p \cdot T_{пл}}} \quad (11)$$

Подставим все значения констант для низкоуглеродистых и низколегированных сталей, и получим, что расстояние до изотермы плавления определяется выражением, в котором погонная энергия подставляется в тепловых величинах, Дж/см:

$$r = 0,005588 \cdot \sqrt{q_{п}} \quad (12)$$

Глубина проплавления при ручной дуговой сварке вычисляется по формуле (12), потому что действительные условия и параметры ввода теплоты в металл отличаются от расчётной схемы [8]:

$$H = (0,5 \dots 0,7) \cdot r \quad (13)$$

При многослойной сварке нет необходимости расчета глубины проплавления у последующих проходов [8].

Определим расстояние до изотермы плавления:

$$r = 0,005588 \cdot \sqrt{q_{\text{п}}} = 0,005588 \cdot \sqrt{13617} = 0,652 \text{ Дж/см}$$

Определим глубину проплавления:

$$H = (0,5 \dots 0,7) \cdot r = (0,5 \dots 0,7) \cdot 0,652 = (0,326 \dots 0,456) \text{ Дж/см}$$

В случае если расчётная глубина проплавления отличается от требуемой более чем на 10...15 %, то необходимо провести изменение параметров режима сварки (значение сварочного тока, количество наплавленного металла за первый проход, диаметр покрытого электрода) и проверочный расчёт глубины проплавления основного металла с новыми параметрами режима ещё раз.

### 3.2.7 Ожидаемый химический состав металла шва

Химический состав металла шва оказывает влияние на его структуру и механические свойства, от него зависят эксплуатационная и технологическая прочность шва [8].

Ожидаемый химический состав наплавленного металла определяется составом электродного и основного металлов, а также долей их количественного участия в шве, а значит режимом и способом сварки, при анализе которых по необходимым критериям, может появиться необходимость в корректировке режиме и его параметров [8].

Химический состав металла сварного шва полностью однороден в пределах одного слоя. Соответственно поэтому в расчете химического состава шва или слоя берется во внимание доля участия основного металла сварного шва [1]:

$$[R]_{\text{ш}} = [R]_{\text{ом}} \cdot \gamma_0 + (1 - \gamma_0) \cdot [R]_{\text{э}} \pm \Delta R \quad (14)$$

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

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

$[R]_0$  – процентное содержание элемента в наплавленном металле электродами выбранной марки;

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

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

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

Во время расчёта химического состава сварного шва, выполненного ручной дуговой сваркой покрытыми электродами,  $\pm\Delta R$  в учёт не идет, так как  $[R]_0$  уже подразумевает все химические реакции электродного металла и покрытия в процессе формирования шва. Доля участия основного металла в металле сварного шва определяется после расчёта площади проплавления и наплавки [1]:

$$\gamma_0 = \frac{F_{\text{пр}}}{F_{\text{пр}} + F_{\text{н}}} = \frac{F_{\text{пр}}}{F_{\text{ш}}} \quad (15)$$

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

$F_{\text{пр}}$  – площадь проплавления основного металла, которая приближённо может быть определена выражением:

$$F_{\text{пр}} = 0,73 \cdot e \cdot h \quad (16)$$

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

$$F_{\text{пр}} = 0,73 \cdot e \cdot h = 0,73 \cdot 4 \cdot 1,25 = 3,65 \text{ мм}^2$$

$F_{\text{ш}}$  – общая площадь шва.

Для упрощения расчётов химического состава шва при многослойной и многопроходной сварке допускаем расчёт как при однослойной сварке по

формуле. Взяв во внимание то, что в более неблагоприятных условиях находится корень шва (при многопроходной и многослойной сварке), в основном ограничиваются расчётом только его химического состава [8].

По условиям сопротивляемости горячим трещинам и эксплуатационной ударной вязкости полученный состав должен иметь необходимое содержание легирующих элементов [8].

Определим долю участия основного металла в металле шва корневого слоя при помощи формулы (1):

$$\gamma_0 = \frac{F_{\text{пр}}}{F_{\text{пр}} + F_{\text{н}}} = \frac{3,65}{3,65 + 24} = 0,132.$$

Для расчета оценки ожидаемого химического состава металла шва необходимо использовать химический состав свариваемых сталей и наплавленного электродного металла из таблицы 1.

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

– углерода (*C*)

$$[R]_{\text{ш}} = 0,9 \cdot 0,132 + (1 - 0,132) \cdot 0,07 = 0,179 \%;$$

– марганца (*Mn*)

$$[R]_{\text{ш}} = 1,5 \cdot 0,132 + (1 - 0,132) \cdot 1,35 = 1,369 \%;$$

– кремния (*Si*)

$$[R]_{\text{ш}} = 0,6 \cdot 0,132 + (1 - 0,132) \cdot 0,50 = 0,513 \%;$$

– серы (*S*)

$$[R]_{\text{ш}} = 0,04 \cdot 0,132 + (1 - 0,132) \cdot 0,025 = 0,026 \%;$$

– фосфора (*P*)

$$[R]_{\text{ш}} = 0,035 \cdot 0,132 + (1 - 0,132) \cdot 0,025 = 0,026 \%.$$

### 3.3 Расчет расхода сварочных материалов

Для каждого способа сварки следует определить расход сварочных материалов для выявления количества наплавленного металла. Наплавленный металл в свою очередь 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 покрытых электродов при ручной дуговой сварке следует рассчитывать по формуле:

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

где  $G_н$  – масса наплавленного металла, определяемая по формуле:

$$G_н = F_н \cdot l_ш \cdot \gamma_н \quad (18)$$

где  $F_н = 90,76 \text{ мм}^2$  – площадь наплавки;

$l_ш$  – длина шва или провариваемого участка, так как в нашем случае конструкция из труб, то длина шва будет рассчитываться по формуле

$$l_ш = \pi \cdot D \quad (19)$$

$\gamma_н$  – плотность наплавленного металла.

Определим длину шва по формуле (19):

$$l_ш = 3,14 \cdot 159 = 499 \text{ мм} = 49,9 \text{ см}$$

Рассчитываем массу наплавленного металла:

$$G_н = F_н \cdot l_ш \cdot \gamma_н = 90,76 \cdot 10^{-2} \cdot 49,9 \cdot 7,8 = 353,2 \text{ г}$$

Рассчитываем расход покрытых электродов:

$$G_{\text{э}} = G_{\text{н}} \cdot (1,6 \dots 1,8) = 352,2 \cdot (1,6 \dots 1,8) = (563,52 \dots 633,96) \text{ г}$$

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

### **3.4 Технология сборки и сварки**

#### **3.4.1 Подготовка сварочных материалов**

Перед сварочными работами выбранные электроды марки УОНИ-13/55 необходимо подвергнуть прокалке в течение 1 часа при температуре 350 – 400 °С.

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

#### **3.4.2 Подготовка свариваемых кромок**

Разделка кромок труб должна соответствовать параметрам в соответствии с требованиями технологии сварки. Перед сборкой изготовленные под сварку кромки и прилегающие к ним участки поверхностей деталей должны быть зачищены и обезжирены.

Конструктивные элементы и размеры разделки кромок должны соответствовать типу С17 по ГОСТ 16037-80 [13].

### **3.4.3 Сборка деталей перед сваркой**

Процесс сборки включает в себя предварительную прихватку деталей. Прихватки необходимы для сохранения зазора между деталями и для предотвращения смещения деталей во время процесса сварки. Количество прихваток определяет длина необходимого сварного соединения. Она зависит также от толщины, жесткости деталей, габаритов и конфигураций свариваемого изделия. Труба диаметром 159 мм должна иметь 3 прихватки с промежутком в 30-40 мм. Прихватка по всей длине должна быть очищена от шлака чтобы не допустить появление дефектов. Сборка может происходить как с помощью подпорных клиньев или струбцины, которые убираются по мере формирования шва, так и на специальном стенде. Обычно используется стандартный стенд, который подойдет для большинства несложных работ, однако, массовое производство подразумевает наличие специализированного места. Перед прихваткой и началом сварки качество сборки стыка должен проверить сварщик [8].

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

### **3.4.4 Сварка элементов соединения**

Сварку стыков труб необходимо начинать сразу после прихватки. Возможный временной промежуток между окончанием выполнения прихваток и началом сварки стыка труб из низколегированных теплоустойчивых сталей перлитного класса должен составлять не более 4 ч. Непосредственно перед

сваркой необходимо проверить состояние поверхности стыка и в случае необходимости зачистить его [8].

Сварку выполнять после выполнения прихваток и контроля. Наложение корневого слоя шва выполнить в 2 приема по  $\frac{1}{2}$  окружности, начиная сварку слоя в потолочной части стыка, отступив на 10 – 30 мм. от нижней точки, соответственно справа снизу-вверх и слева снизу-вверх. Порядок наложения последующих слоев шва аналогичен порядку наложения корневого слоя. После наложения каждого слоя шва производить зачистку металлической щеткой. Зажигание дуги производить на кромке трубы или на металле шва на расстоянии 20 – 25 мм от кратера. Перед гашением дуги сварщик должен заполнить кратер путем постепенного отвода электрода и вывода дуги назад на 15 – 20 мм на только что наложенный шов. Возобновление шва после замены электрода производить с перекрытием ранее наложенного валика, но без увеличения усиления.

### **3.4.5 Отделочные операции**

После сварки и полного остывания сварного шва необходимо произвести зачистку сваренного стыка от шлака и брызг металла. Для данной марки стали термическая обработка сварного соединения не требуется. Широко распространенные свариваемые малоуглеродистых низколегированные стали типа 09Г2С имеют очень высокую критическую скорость охлаждения, не превышающую  $100^{\circ}\text{C}/\text{с}$ , поэтому охлаждение при сварке данных сталей не вызывает образования в металле шва неблагоприятной структуры.

### **3.4.6 Техника безопасности при проведении сварочных работ**

Помещение, в котором производятся работы должно быть оснащено приточно-вытяжной вентиляцией. Для защиты органов дыхания рабочего, рекомендуется использовать респиратор с химическим фильтром.

Помещения должны соответствовать требованиям пожарной безопасности и иметь необходимые средства предотвращения пожара (огнетушители, лопаты, ломы, емкости для воды и песка, пожарные краны) и противопожарной защиты (пожарные сигнализации и системы пожаротушения, системы противодымной защиты).

### **3.4.7 Контроль качества сварных соединений**

Сварочные работы контролируются на каждом этапе для выполнения качественного сварного процесса. Контроль проводится для того, чтобы подтвердить точность и надлежащее качество выполнения изготавливаемых конструкций. При многослойной сварке контролируется наложения каждого слоя. По завершению сварочных работ шов проверяется на наличие дефектов, которые можно определить визуально, такие, как трещины, наплывы, прожоги, незаваренные кратеры, выводы кратера на основной металл, сплошные сетки или цепочки пор, непровары, подрезы.

Требования к сварке соединений труб в нитку магистральных нефтепроводов и нефтепродуктопроводов устанавливает РД 25.160.00-КТН-011-10 [16].

Неразрушающий контроль сварных соединений при строительстве и ремонте магистральных трубопроводов регламентирует РД 25.160.10-КТН-016-15 [17]. Согласно которому для изготовленной конструкции необходимо

произвести визуальный и измерительный контроль (ВИК), ультразвуковой контроль (УЗК) и радиографический контроль (РК).

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

- проверки соответствия геометрических параметров сварных соединений требованиям НД, ТД и проектной документации;
- обнаружении поверхностных (выходящих на поверхность) и сквозных дефектов сварных соединений типа трещин, подрезов, несплавлений, незаваренных кратеров, прожогов, неметаллических включений, расслоений и т. п. и определения их расположения, размеров и ориентации по поверхности [15].

ВИК проводится в первую очередь, предшествуя другим методам неразрушающего контроля (НК). Недопустимые дефекты, выявленные при ВИК, должны быть устранены до выполнения контроля другими методами НК [15].

### 3.5 Вывод по разделу

Результатом выполнения данного раздела является разработанная технология сборки и дуговой сварки покрытыми электродами стыкового соединения труб диаметром 159 мм с толщиной стенки 10 мм из стали 09Г2С.

Произведен расчет параметров режима для ручной дуговой сварки покрытыми электродами, при помощи которых можно осуществить технологию сварки изготавливаемой конструкции, обеспечивая качественное проплавление, благоприятное формирование сварного шва и равнопрочность сварного соединения.

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

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

## **4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение**

Данная выпускная квалификационная работа заключается в исследовании влияния покрытых электродов различных производителей на свойства сварных соединений низколегированных стальных труб.

Суть работы заключается в исследовании и разработке процесса электродуговой сварки плавящимся электродом низколегированной стали 09Г2С.

Целью раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» является определение перспективности и успешности НИ, оценка его эффективности, уровня возможных рисков, разработка механизма управления и сопровождения конкретных проектных решений на этапе реализации.

Для достижения обозначенной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Оценить коммерческий потенциал и перспективность разработки;
2. Осуществить планирование этапов выполнения исследования;
3. Рассчитать бюджет затрат на исследования;
4. Произвести оценку научно-технического уровня исследования и оценку рисков.

### **4.1 Потенциальные потребители результатов исследования**

В качестве потенциальных потребителей результатов проведенного исследования «Исследование влияния покрытых электродов различных производителей на свойства сварных соединений низколегированных стальных

труб» выступают производственные лаборатории, где научное направление это физическая мезомеханика материалов.

Примером предприятия потребителя является учреждение ИФПМ СО РАН, г. Томск

#### 4.2 Анализ конкурентных технических решений

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

Целесообразно проводить данный анализ с помощью оценочной карты. Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений представлена в таблице 8.

Таблица 8 – Оценочная карта для сравнения конкурентных решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		БЕ	БИ	БВ	КЕ	КИ	КВ
1	2	3	4	5	6	7	8
<b>Технические критерии оценки ресурсоэффективности</b>							
1. Простота проведения	0,1	5	3	3	0,5	0,4	0,4
2. Стоимость материалов	0,2	5	3	4	1	0,8	0,6
3. Точность измерения	0,2	3	5	5	1	0,8	0,8
4. Универсальность метода	0,15	5	4	4	0,6	0,45	0,45
5. Безопасность метода	0,15	5	5	5	0,75	0,75	0,75
<b>Экономические критерии оценки эффективности</b>							
6. Цена	0,1	5	3	3	0,5	0,4	0,3
7. Конкурентоспособность	0,1	4	4	4	0,4	0,3	0,3
<b>Итого</b>	<b>1</b>	<b>32</b>	<b>27</b>	<b>28</b>	<b>4,75</b>	<b>3,9</b>	<b>3,6</b>

где  $B_E$ –измерение визуально-измерительным методом контроля;

$B_R$ – измерение радиографическим методом контроля;

$B_U$ – измерение ультразвуковым методом контроля.

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum V_i \times B_i \quad (20)$$

где  $K$  – конкурентоспособность вида;

$V_i$ – вес критерия (в долях единицы);

$B_i$  – балл  $i$ -го показателя.

По данным оценочной карты можно увидеть, что для повышения конкурентоспособности с минимальными издержками более эффективно использовать визуально-измерительный метод контроля исследования ввиду экономической и ресурсопотребительской выгоды.

### 4.3 SWOT-анализ

Произведем также в данном разделе SWOT – анализ НИ, позволяющий оценить факторы и явления, способствующие или препятствующие продвижению проекта на рынок.

Сильные стороны — это факторы, которые положительно сказываются на развитии проекта. Сюда обычно включают все, что превращает функционирование в успешную и конкурентную работу.

Слабые стороны– это недостаток, упущение или ограниченность научно-исследовательского проекта, которые препятствуют достижению его целей. Это то, что плохо получается в рамках проекта или где он располагает недостаточными возможностями или ресурсами по сравнению с конкурентами.

Возможности включают в себя любую предпочтительную ситуацию в настоящем или будущем, возникающую в условиях окружающей среды проекта:

тенденцию, изменение или предполагаемую потребность, которая поддерживает спрос на результаты проекта и позволяет руководству проекта улучшить свою конкурентную позицию.

Угроза представляет собой любую нежелательную ситуацию, тенденцию или изменение в условиях окружающей среды проекта, которые имеют разрушительный или угрожающий характер для его конкурентоспособности в настоящем или будущем. В качестве угрозы может выступать барьер, ограничение или что-либо еще, что может повлечь за собой проблемы, разрушения, вред или ущерб, наносимый проекту.

На первом этапе SWOT анализа в таблице 9 были описаны сильные и слабые стороны проекта, выявлены возможности и угрозы реализации НИ.

Таблица 9 – Матрица SWOT анализа

Сильные стороны	Возможности во внешней среде
<p>С1. Широкая область применения;</p> <p>С2. Методы, описанные в работе, несут в себе экономичность и ресурсоэффективность;</p> <p>С3. Актуальность и высокая технологичность методов;</p> <p>С4. Присутствие у потенциальных потребителей квалифицированных кадров по работе с данными методами;</p>	<p>В1. Адаптация научного исследования под актуальные потребности;</p> <p>В2. Большой потенциал применения в России и не только;</p> <p>В3. Регулирование соотношения цена – качество.</p>
Слабые стороны	Угрозы внешней среды
<p>Сл1. Необходимость в специальном оборудовании;</p> <p>Сл2. Прямая зависимость от квалификации кадров;</p> <p>Сл3. Высокое число конкурентов на рынке.</p>	<p>У1. Появление новых технологий;</p> <p>У2. Отказ от технической поддержки проекта после внедрения;</p> <p>У3. Введение дополнительных государственных требований и сертификации программы.</p>

Второй этап состоит в выявлении соответствия сильных и слабых сторон научно-исследовательского проекта внешним условиям окружающей среды. Это

соответствие или несоответствие должны помочь выявить степень необходимости проведения стратегических изменений. В рамках данного этапа необходимо построить интерактивную матрицу проекта. Ее использование помогает разобраться с различными комбинациями взаимосвязей областей матрицы SWOT. Возможно использование этой матрицы в качестве одной из основ для оценки вариантов стратегического выбора. Каждый фактор помечается либо знаком «+» (означает сильное соответствие сильных сторон возможностям), либо знаком «-» (что означает слабое соответствие); «0» – если есть сомнения в том, что поставить «+» или «-». Интерактивная матрица проекта представлена в таблице 10.

Таблица 10 - Интерактивная матрица сильных и слабых сторон и возможностей

Возможности проекта	Сильные стороны				Слабые стороны		
		C1	C2	C3	C4	Сл1	Сл2
B1	+	+	+	-	0	-	+
B2	+	+	+	+	+	+	+
B3	+	+	0	-	+	-	+

Таблица 11 - Интерактивная матрица сильных сторон и слабых сторон и угроз

Угрозы проекта	Сильные стороны				Слабые стороны		
		C1	C2	C3	C4	Сл1	Сл2
У1	+	-	-	+	+	-	-
У2	+	+	+	-	+	-	+
У3	+	-	+	-	-	-	-

Анализ интерактивных таблиц представляется в форме записи сильно коррелирующих сильных сторон и возможностей или слабых сторон и возможностей:

- В1С1С2С3Сл3; В2С1С2С3С4Сл1Сл2Сл3; В3С1С2Сл1Сл3;
- У1С1С4Сл1;
- У2С1С2С3Сл1Сл3;
- У3С1С3.

Самой большой угрозой для проекта является отсутствие технической поддержки проекта из-за высокого числа конкурентов на рынке.

Что касается слабых сторон, то для данных методов исследования требуется привлечение опытных и квалифицированных специалистов, в данной производственной сфере.

В рамках третьего этапа составляется итоговая матрица SWOT-анализа, представленная в таблице 12.

Таблица 12 - Итоговая матрица SWOT-анализа

	<p>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>С1. Широкая область применения;</p> <p>С2. Методы, описанные в работе, несут в себе экономичность и ресурсоэффективность;</p> <p>С3. Актуальность и высокая технологичность методов;</p> <p>С4. Присутствие у потенциальных потребителей квалифицированных кадров по работе с данными методами;</p>	<p>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>Сл1. Необходимость в специальном оборудовании;</p> <p>Сл2. Прямая зависимость от квалификации кадров;</p> <p>Сл3. Высокое число конкурентов на рынке.</p>
--	--	---

## Продолжение таблицы 12

<p>Возможности:</p> <p>В1. Адаптация научного исследования под актуальные потребности;</p> <p>В2. Большой потенциал применения в России и не только;</p> <p>В3. Регулирование соотношения цена – качество.</p>	<p>Большой потенциал применения метода в России и других странах способствует развитию и доработке эффективной разработки технологий на сварку.</p>	<p>Требуется привлечение опытных и квалифицированных специалистов, в данной производственной сфере.</p>
<p>Угрозы:</p> <p>У1. Появление новых технологий;</p> <p>У2. Отказ от технической поддержки проекта после внедрения;</p> <p>У3. Введение дополнительных государственных требований и сертификации программы.</p>	<p>Широкая область применения влияет на актуальность и технологичность исследования.</p>	<p>Самой большой угрозой для проекта является отсутствие технической поддержки проекта из-за высокого числа конкурентов на рынке.</p>

## 4.4 Планирование работ по научно-техническому исследованию

### 4.4.1 Структура работ в рамках научного исследования

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

- определение структуры работ в рамках научного исследования;
- определение участников каждой работы;
- установление продолжительности работ;
- построение графика проведения научных исследований.

Для выполнения научных исследований формируется рабочая группа, в состав которой могут входить научные сотрудники и преподаватели, инженеры, техники и лаборанты, численность групп может варьироваться. По каждому виду запланированных работ устанавливается соответствующая должность исполнителей.

Перечень этапов и работ, распределение исполнителей по данным видам работ приведен в таблице 13.

Таблица 13 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель
Выбор направления исследований	2	Выбор направления исследований	Бакалавр
	3	Подбор и изучение материалов по теме	Бакалавр
	4	Календарное планирование работ	Руководитель Бакалавр
Теоретические и экспериментальные исследования	5	Сопоставление химического состава исследуемых объектов и вывод	Руководитель Бакалавр
	6	Расчётно-графические вычисления	Бакалавр
Обобщение и оценка результатов	7	Оценка эффективности полученных результатов	Бакалавр
Оформление отчета по НИР	8	Составление пояснительной записки	Бакалавр

#### 4.4.2 Определение трудоемкости выполнения работ

Трудовые затраты в большинстве случаев образуют основную часть стоимости разработки, поэтому важным моментом является определение трудоемкости работ каждого из участников научного исследования.

Трудоемкость выполнения научного исследования оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, который зависит от множества трудно учитываемых факторов. Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости  $t_{ожі}$  используется следующая формула:

$$t_{ожі} = \frac{3t_{\min i} + 2t_{\max i}}{5}, \quad (21)$$

где  $t_{ожі}$  – ожидаемая трудоемкость выполнения  $i$ -ой работы чел.-дн.;

$t_{\min i}$  – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной  $i$ -ой работы, чел.-дн.;

$t_{\max i}$  – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной  $i$ -ой работы, чел.-дн.;

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях  $T_p$ , учитывающая параллельность выполнения работ по нескольким исполнителями.

$$T_{pi} = \frac{t_{ожі}}{Ч_i}, \quad (22)$$

где  $T_{pi}$  – продолжительность одной работы, раб.дн.;

$t_{ожі}$  – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн.;

$Ч_i$  – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

#### 4.4.3 Разработка графика проведения научного исследования

Наиболее удобным и наглядным представлением проведения научных работ является построение ленточного графика в форме диаграммы Ганта.

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

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

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}} \quad (23)$$

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

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

$k_{\text{кал}}$  – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - (T_{\text{вых}} + T_{\text{пр}})}, \quad (24)$$

где  $T_{\text{кал}}$  – количество календарных дней в году;

$T_{\text{вых}}$  – количество выходных дней в году;

$T_{\text{пр}}$  – количество праздничных дней в году.

Расчет коэффициента календарности:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - (T_{\text{вых}} + T_{\text{пр}})} = \frac{365}{365 - 118} = 1,48$$

Таблица 14 – Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоёмкость работ									Исполнители	Длительность работ в рабочих днях $T_{pi}$			Длительность работ в календарных днях $T_{ki}$		
	$T_{min}$ , чел–дни			$T_{max}$ , чел–дни			$T_{ож}$ , чел– дни				Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3
	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3							
Выбор темы ВКР	1	1	1	2	2	2	1,4	1,4	1,4	Студент, научный руководитель	1	1	1	1	1	1
Составление и утверждение плана работ	1	1	1	2	2	2	1,4	1,4	1,4	Научный руководитель	1	1	2	1	1	2
Подбор и изучение материалов по теме	2	2	3	4	4	5	2,8	2,8	3,8	Студент	2	2	3	2	2	4
Выбор направления исследования	1	1	1	3	2	2	1,8	1,4	1,4	Студент, научный руководитель	2	2	2	2	2	2
Календарное планирование работ	1	1	1	3	4	4	1,8	2,2	2,2	Студент, научный руководитель	2	3	3	2	3	3
Подбор и изучение материалов по теме	9	10	13	12	16	17	10,2	12,4	14,6	Студент	12	13	16	16	17	22

Продолжение таблицы 14

Сопоставление химического состава исследуемых объектов	10	12	14	12	15	17	10,8	13,2	15,8	Студент, научный руководитель	11	14	15	13	18	19
Расчётно-графические вычисления	5	6	7	8	9	10	6,2	7,2	8,2	Студент	7	7	9	9	9	11
Оценка эффективности полученных результатов	4	4	5	6	6	8	4,8	4,8	6,2	Студент	4	5	5	4	7	7
Написание раздела «Финансовый менеджмент»	4	4	4	6	6	6	4,8	4,8	4,8	Студент	5	5	5	5	5	5
Написание раздела «Социальная ответственность»	1	2	2	3	4	4	1,8	2,8	2,8	Студент	1	2	2	1	2	2
Оформление ВКР	5	4	6	7	7	8	5,8	5,2	6,2	Студент	5	6	7	5	8	9

Составлен план научного исследования, в котором разработан календарный план выполнения работ. Для построения таблицы временных показателей проведения НИ был рассчитан коэффициент календарности. С помощью показателей в табл. 15 был разработан календарный план-график проведения НИ по теме. Для иллюстрации календарного плана была использована диаграмма Ганта, указывающая на целесообразность проведения данного исследования.

Таблица 15 - Календарный план-график проведения научного исследования

№ работ	Вид работ	Исполнители	Т <sub>кi</sub> , кал. дн.	Продолжительность выполнения работ													
				февраль		март			апрель			май					
				2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3			
1	Выбор темы ВКР	Ст, НР	1	■													
2	Составление и утверждение плана работ	НР	1	■													
3	Подбор и изучение материалов по теме	Ст	2	■	■												
4	Выбор направления исследования	Ст, НР	2	■	■												
5	Календарное планирование работ	Ст, НР	2	■	■												
6	Подбор и изучение материалов по теме	Ст	16			■	■	■	■								
7	Сопоставление химического состава исследуемых объектов	Ст, НР	13						■	■							
8	Расчётно-графические вычисления	Ст	9								■	■					



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

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

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

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

Таблица 16 – Материальные затраты

Наименование	Единица измерения	Количество			Цена за ед., руб.	Затраты на материалы, (Зм), руб.		
		Исп.1	Исп.2	Исп.3		Исп.1	Исп.2	Исп.3
Тетрадь для записей	Шт.	1	1	1	45	45	45	45
Ручка	Шт.	1	1	1	15	15	15	15
Сварочные эл-ды	Кг	10	10	10	1000	10000	10000	10000
Электроэнергия	кВт*ч	250	300	280	3,5	875	1050	980
Итого, руб.						11029	11204	11134

Общие материальные затраты составят 11029руб.

#### 4.5.2 Расчет затрат на специальное оборудование для научных работ

В данную статью включают все затраты, связанные с приобретением специального оборудования (приборов, контрольно-измерительной аппаратуры, стенов, устройств и механизмов), необходимого для проведения работ по конкретной теме. Определение стоимости спецоборудования производится по действующим прейскурантам, а в ряде случаев по договорной цене. При приобретении спецоборудования необходимо учесть затраты по его доставке и

монтажу в размере 15% от его цены. Расчет затрат по данной статье представлен в таблице 17.

Таблица 17 – Расчет бюджета затрат на приобретение спецоборудования для научных работ

№ п/п	Наименование оборудования	Кол-во единиц оборудования			Цена единицы оборудования, тыс. руб.			Общая стоимость оборудования, тыс. руб.		
		Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1.	Источник питания	1	1	1	30	30	30	40	40	40
Итого:								40	40	40

#### 4.5.3 Основная заработная плата исполнителя темы

В настоящую статью включается основная заработная плата научных и инженерно-технических работников, рабочих макетных мастерских и опытных производств, непосредственно участвующих в выполнении работ по данной теме. Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы окладов и тарифных ставок. В состав основной заработной платы включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы в размере 20-30 % от тарифа или оклада. Расчет основной заработной платы приводится в таблице 18.

Таблица 18 – Расчет основной заработной платы

№ п/п	Наименование этапов	Исполнители по категориям	Трудоемкость, чел.-дн.			Зарплата, приходящаяся на один чел.-дн.			Всего зарплата по тарифу (окладам), тыс. руб.		
			Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1.	Выбор темы ВКР	Ст, НР	1	1	1	5,1			5,1	5,1	5,1
2.	Составление и утверждение плана работ	НР	1	1	2	3,1			3,1	3,1	6,2
3.	Подбор и изучение материалов по теме	Ст	2	2	3	2			4	4	6
4.	Выбор направления исследования	Ст, НР	2	2	2	5,1			10,2	10,2	10,2
5.	Календарное планирование работ	Ст, НР	2	3	3	5,1			10,2	15,3	15,3
6.	Подбор и изучение материалов по теме	Ст	12	13	16	2			4	6	2
7.	Сопоставление химического состава исследуемых объектов	Ст, НР	11	14	15	5,1			6,1	7,4	7,5
8.	Расчётно-графические вычисления	Ст	7	7	9	2			14	14	18
9.	Оценка эффективности полученных результатов	Ст	4	5	5	2			8	10	10
10.	Написание раздела «Финансовый менеджмент»	Ст	5	5	5	2			10	10	10
11	Написание раздела «Социальная ответственность»	Ст	1	2	2	2			2	4	4
12	Оформление ВКР	Ст	5	6	7	2			10	12	14
Итого									86	87	87

Статья включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением проекта, (включая премии, доплаты) и дополнительную заработную плату и рассчитывается по формуле:

$$Z_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп} \quad (26)$$

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

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

Основная заработная плата руководителя рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_p \quad (27)$$

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

$T_p$  – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн.;

$Z_{дн}$  – среднедневная заработная плата работника, руб.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{дн} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d} \quad (28)$$

где  $Z_m$  – месячный должностной оклад работника, руб.;

$M$  – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

при отпуске в 24 раб. дня  $M = 11,2$  месяца, 5–дневная неделя;

при отпуске в 48 раб. дней  $M = 10,4$  месяца, 6–дневная неделя;

$F_d$  – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн.

Таблица 19 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Студент
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней - выходные дни - праздничные дни	118	118

#### Продолжение таблицы 19

Потери рабочего времени		
- отпуск	48	72
- невыходы по болезни	0	0
Действительный годовой фонд рабочего времени	199	175

Проведем расчет заработной платы относительно того времени, в течение которого работал руководитель и студент. Принимая во внимание, что за час работы руководитель получает 450 рублей, а студент 100 рублей (рабочий день 8 часов).

$$Z_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп} \quad (29)$$

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

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

Максимальная основная заработная плата руководителя (кандидата технических наук) равна примерно 48000 рублей, а студента 31700 рублей.

#### 4.5.4 Расчет дополнительной заработной платы

Дополнительная заработная плата учитывает величину предусмотренных Трудовым кодексом РФ доплат за отклонение от нормальных условий труда, а также выплат, связанных с обеспечением гарантий и компенсаций (при исполнении государственных и общественных обязанностей, при совмещении работы с обучением, при предоставлении ежегодного оплачиваемого отпуска и т.д.).

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$Z_{доп} = K_{доп} \cdot Z_{осн}, \quad (30)$$

где  $K_{доп}$  – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии

проектирования принимается равным 0,12 – 0,15).

Таким образом, заработная плата руководителя равна 54000 рублей, студента – 35500 рублей.

#### 4.5.5 Отчисления во внебюджетные фонды

В данной статье расходов отражаются обязательные отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС) от затрат на оплату труда работников.

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из формулы:

$$Z_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}) \quad (31)$$

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

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

Отчисления во внебюджетные фонды представлены в таблице 4.14.

Таблица 20 – Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.	Дополнительная заработная плата, руб.
Научный руководитель	54000	5760
Бакалавр	35500	3804
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	0,302	
<b>Итого:</b>	<b>29917</b>	

#### 4.5.6 Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов. Их величина определяется по формуле:

$$Z_{\text{накл}} = (\sum \text{статей}) \cdot k_{\text{нр}} \quad (32)$$

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

Величину коэффициента накладных расходов можно взять в размере 16%.

Накладные расходы для исполнения 1 составили:

$$Z_{\text{накл}} = 86000 \cdot 0,16 = 13760 \text{ руб.}$$

Накладные расходы для исполнения 2 составили:

$$Z_{\text{накл}} = 87000 \cdot 0,16 = 13920 \text{ руб.}$$

Накладные расходы для исполнения 3 составили:

$$Z_{\text{накл}} = 87000 \cdot 0,16 = 13920 \text{ руб.}$$

#### 4.5.7 Формирование бюджета затрат НИ проекта

Рассчитанная величина затрат научно–исследовательской работы является основой для формирования бюджета затрат проекта. Определение бюджета затрат на научно–исследовательский проект приведено в таблице 21.

Таблица 21 –Расчет бюджета затрат НИИ

Наименование статьи	Сумма, руб.	Примечание
	Исп.1	
1. Материальные затраты НИИ	11209	Пункт 3.3.1

Продолжение таблицы 21

2. Затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	40000	Пункт 3.3.2
3. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	54000	Пункт 3.3.3
4. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	35500	Пункт 3.3.3
5. Отчисления во внебюджетные фонды	29917	Пункт 3.3.4
6. Накладные расходы	13760	16% от суммы ст. 1-5
7. Бюджет затрат НТИ	184386	Сумма ст.1-6

**4.6 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования**

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

Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования определяется как:

$$I_{\text{фин.р}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}} \quad (33)$$

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

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

$\Phi_{\text{max}}$  – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта.

$$I_{\text{фин.р}}^{\text{исп1}} = \frac{138289,5}{184386} = 0,75;$$

$$I_{\text{фин.р}}^{\text{исп2}} = \frac{165947}{184386} = 0,9;$$

$$I_{\text{фин.р}}^{\text{исп3}} = \frac{184386}{184386} = 1$$

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

$$I_{pi} = \sum_{i=1}^n a_i \times b_i \quad (34)$$

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

$a_i$  – весовой коэффициент  $i$ -го варианта исполнения разработки;

$b_i^a, b_i^p$  – бальная оценка  $i$ -го варианта исполнения разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

$n$  – число параметров сравнения.

Таблица 22 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Критерии \ Объект исследования	Весовой коэффициент параметра	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1. Способствует росту производительности труда пользователя	0,2	5	4	4
2. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,2	5	4	3
3. Помехоустойчивость	0,1	3	4	3

Продолжение таблицы 22

4. Энергосбережение	0,1	3	3	3
5. Надежность	0,2	5	5	5
6. Материалоемкость	0,2	4	4	4
Итого	1	4,4	4,1	3,8

$$I_{p-исп1} = 0,2 \cdot 5 + 0,2 \cdot 5 + 0,1 \cdot 3 + 0,1 \cdot 3 + 0,2 \cdot 5 + 0,2 \cdot 4 = 4,4;$$

$$I_{p-исп2} = 0,2 \cdot 4 + 0,2 \cdot 4 + 0,1 \cdot 4 + 0,1 \cdot 3 + 0,2 \cdot 5 + 0,2 \cdot 4 = 4,1;$$

$$I_{p-исп3} = 0,2 \cdot 4 + 0,2 \cdot 3 + 0,1 \cdot 3 + 0,1 \cdot 3 + 0,2 \cdot 5 + 0,2 \cdot 4 = 3,8.$$

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

$$I_{исп1} = \frac{I_{p-исп1}}{I_{фин.р}} = \frac{4,4}{0,75} = 5,86$$

$$I_{исп2} = \frac{I_{p-исп2}}{I_{фин.р}} = \frac{4,1}{0,9} = 4,55;$$

$$I_{исп3} = \frac{I_{p-исп3}}{I_{фин.р}} = \frac{3,8}{1} = 3,8.$$

Сравнение интегрального показателя эффективности вариантов исполнения разработки позволит определить сравнительную эффективность проекта и выбрать наиболее целесообразный вариант из предложенных.

Сравнительная эффективность проекта ( $\mathcal{E}_{ср}$ ):

$$\mathcal{E}_{ср} = \frac{I_{исп2}}{I_{исп1}} \quad (35)$$

Таблица 23 – Сравнительная эффективность разработки

№	Показатели	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,75	0,9	1
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,4	4,1	3,8

### Продолжение таблицы 23

3	Интегральный показатель эффективности	5,86	4,5	3,8
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1	0,767	0,648

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

#### **4.7 Вывод по разделу**

В данном разделе выполнен анализ ресурсоэффективности и ресурсосбережения научно-исследовательской работы – исследовании влияния покрытых электродов различных производителей на свойства сварных соединений низколегированных стальных труб. Были проанализированы слабые и сильные стороны работы, способы устранения их и использования для продвижения исследовательской работы. Был проведен прогноз внешних угроз и возможностей, учитывая которые можно повысить конкурентоспособность данного проекта.

## **5 Социальная ответственность**

### **5.1 Введение**

Объектом исследования является технология сборки и дуговой сварки труб из низколегированной стали 09Г2С, которая применяется в производстве или строительстве для объектов с трубопроводными системами.

Производственное закрытое помещение (цех) с настенной вытяжкой и смешанным освещением площадью 100м<sup>2</sup> и более. В помещении имеется: оборудование для резки и обработки заготовок, сварочное оборудование, комплект ВИК. Непосредственно на рабочем месте имеются дополнительные источники освещения и местная вытяжка. Рабочий процесс включает в себя виды работ: с абразивным инструментом, сварочным оборудованием и комплектом для контроля.

Любой производственный процесс несёт за собой совокупность вредных и опасных факторов для жизни работника. В целях безопасности себя и окружающих, рабочий обязан соблюдать технику промышленной безопасности, установленной Федеральными законами и уставами по охране труда.

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

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

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

Согласно трудовому кодексу Российской Федерации N 197-ФЗ (далее – ТК РФ) рабочий 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.

Нормальная продолжительность рабочего времени – это 40 часов в неделю (ст. 91 ТК РФ). В то же время продолжительность рабочего времени по ТК сокращается для отдельных категорий работников (например, для инвалидов I или II группы – до 35 часов в неделю, для «вредников» — до 36 часов в неделю). Сокращенная продолжительность рабочего времени в неделю на работах с вредными условиями труда 3-й или 4-й степени (то есть подклассы вредности 3.3 и 3.4) или опасным условиям труда – не более 36 часов.

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

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

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

При выполнении ручной дуговой сварки должны соблюдаться следующие требования:

- ручная дуговая сварка производится на стационарных постах, оборудованных вытяжной вентиляцией. При невозможности выполнения сварочных работ на стационарных постах, обусловленной габаритами и конструктивными особенностями свариваемых изделий, для удаления пыли и газообразных компонентов аэрозоля от сварочной дуги применяются местные отсосы и/или средства индивидуальной защиты органов дыхания;
- кабели (провода) электросварочных машин располагаются на расстоянии не менее 0,5 м от трубопроводов кислорода и не менее 1 м от трубопроводов ацетилена и других горючих газов;
- электросварочные трансформаторы или другие сварочные агрегаты включаются в сеть посредством рубильников или пусковых устройств.

### **5.3 Производственная безопасность**

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

Перечень опасных и вредных факторов, характерных для проектируемой производственной среды приведен в таблице 24.

Таблица 24 – Возможные опасные и вредные факторы

Факторы	Нормативные документы
1. Превышение уровня шума и вибрации	СанПиН 1.2.3685-21
2. Отсутствие или недостаток необходимого искусственного освещения	СНиП 23-05-95*
3. Вредные вещества	ГОСТ 12.3.003-86 ССБТ
4. Ожоги роговицы глаз	ГОСТ 12.4.254-2013 ССБТ
5. Опасность поражения электрическим током	ГОСТ 12.1.019-2017 ССБТ
6. Движущиеся машины и механизмы, подвижные части производственного оборудования	ГОСТ 12.2.003-91 ССБТ
7. Неподвижные режущие, колющие, обдирающие, разрывающие части твердых объектов	ГОСТ 12.4.125-83 ССБТ
8. Высокий уровень интенсивности труда и тяжелая физическая работа.	Р 2.2.2006-05
9. Микроклимат	СанПиН 1.2.3685-21
10. Короткое замыкание	ГОСТ 12.1.019–2017 ССБТ
11. Статическое электричество	ГОСТ 12.1.019–2017 ССБТ

### 5.3.1 Превышение уровня шума и вибрации

Основными источниками шума при проведении заготовительных и сборочно-сварочных операций являются станки для обработки металла,

подвижные передвигающиеся части машин и механизмов, сварочная дуга и шум, издаваемый источником питания сварочной дуги.

Для снижения шума в производственных помещениях применяют различные методы коллективной защиты по ГОСТ 12.1.029-80. Этими мерами являются:

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

Согласно СанПиН 1.2.3685-21 для рабочих помещений административно–управленческого персонала производственных предприятий уровень шума не должен превышать 50 дБ.

### **5.3.2 Отсутствие или недостаток необходимого искусственного освещения**

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

Недостаточная освещённость может быть вызвана ошибочным расположением ламп в помещении, отсутствием окон в помещении, не правильным выбором количества осветительных приборов и не рациональной загрузкой на них электрического тока. Данный фактор может стать причиной неадекватного восприятия человека технологического процесса, его утомления, а также вызвать пульсирующие головные боли. Нормирование значений

освещенности рабочей поверхности при сварочных работах помещения составляет 200 люкс.

### **5.3.3 Вредные вещества**

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

При ручной дуговой сварке плавящимся электродом в воздух рабочей среды выделяется сварочная пыль. Сварочная пыль представляет собой аэрозоль – взвесь частиц оксидов металлов и минералов в газовой среде. Основными составляющими аэрозоля являются оксиды железа (до 70%), марганца, кремния, хрома, фтористые и другие соединения. Наиболее вредны соединения хрома, марганца и фтора. На рабочем месте допускаются следующие предельные концентрации веществ (ПДК) в воздухе (в мг/м<sup>3</sup>): марганец и его соединения – 0,30; хром и его соединения – 0,10; свинец и его соединения – 0,01; цинковые соединения – 5,00; оксид углерода – 20,00; фтористый водород – 0,50; оксид азота – 5,00.

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

### **5.3.4 Ожоги роговицы глаз**

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

Во избежание последствий облучения ультрафиолетовым излучением кожи и сетчатки глаз необходимо соблюдать технику безопасности на рабочем месте. При проведении сварочных работ сварщик обязан быть обеспечен средствами индивидуальной защиты, сварочной защитной маской и производственной сварочной защитной одеждой. В комплект защитной одежды входят костюм и рукавицы, изготовленные из брезентового материала. Для защиты окружающих устанавливаются ограждения, ширмы, предупреждающие знаки.

### **5.3.5 Опасность поражения электрическим током (статическое электричество и короткое замыкание)**

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

Все оборудование должно быть выполнено в соответствии с требованиями ГОСТ 12.1.019–2017 во время работы.

Для предупреждения электротравматизма необходимо проводить соответствующие организационные и технические мероприятия:

- прохождение специальной подготовки в области выполняемых работ, которая может организовываться в форме инструктажа или иной форме;
- наличие специального удостоверения, дающего право на выполнение сварочных работ;
- регламентированные влажные уборки помещения, возможно увлажнители воздуха, для минимизации возникновения статического заряда;
- наличие действующего удостоверения по электробезопасности, подтверждающего присвоение сотруднику группы не ниже II.

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

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

Согласно ГОСТ 12.2.003-91. Конструкция производственного оборудования должна исключать падение или выбрасывание предметов (например, инструмента, заготовок, обработанных деталей, стружки), представляющих опасность для работающих, а также выбросов смазывающих, охлаждающих и других рабочих жидкостей.

Движущиеся части производственного оборудования, являющиеся возможным источником травмоопасности, должны быть ограждены или расположены так, чтобы исключалась возможность прикосания к ним работающего или использованы другие средства (например, двуручное управление), предотвращающие травмирование. Помещение должно быть оборудовано предупреждающими вывесками. Перед началом работ обязательное проведение инструктажа.

### **5.3.7 Неподвижные режущие, колющие, обдирающие, разрывающие части твердых объектов**

Производственное оборудование должно обеспечивать безопасность работающих при монтаже (демонтаже), вводе в эксплуатацию и эксплуатации как в случае автономного использования, так и в составе технологических комплексов при соблюдении требований (условий, правил), предусмотренных эксплуатационной документацией. Для защиты окружающих устанавливаются ограждения, ширмы, предупреждающие знаки.

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

### **5.3.8 Высокий уровень интенсивности труда и тяжелая физическая работа.**

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

Для предотвращения получения травм рекомендуется:

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

### 5.3.9 Микроклимат

Согласно СанПиН 1.2.3685-21 нормы микроклимата производственных помещений допускаются по показателям указанных в таблице 25.

Таблица 25 - Оптимальные нормы микроклимата в рабочей зоне производственных помещений

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

Микроклимат производственных помещений должен поддерживаться в пределах допустимых норм. Помещение должно быть оборудовано системой отопления, естественной вентиляцией, а также искусственным кондиционированием.

### 5.4 Экологическая безопасность

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

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

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

Процесс разработки технологии сборки конструкции представляет из себя работу с информацией, такой как технологическая литература, статьи, ГОСТы и нормативно-техническая документация. Использованная макулатура утилизируется согласно ГОСТ Р 55090-2012 и в последствии вторично используется.

## **5.5 Безопасность в чрезвычайных ситуациях**

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

Наиболее вероятными ЧС на машиностроительном производстве могут являться следующие ситуации:

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

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

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

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

Помещения должны соответствовать требованиям пожарной безопасности и иметь необходимые средства предотвращения пожара (огнетушители, лопаты, ломы, емкости для воды и песка, пожарные краны) и противопожарной защиты (пожарные сигнализации и системы пожаротушения, системы противодымной защиты).

В случае пожара работникам предприятия необходимо выполнить следующие три действия:

- Немедленно сообщить по телефону о пожаре в пожарную охрану;
- Оповестить о пожаре всех работников;
- Принять меры по эвакуации людей, тушению пожара, сохранению материальных ценностей.

## **5.6 Вывод по разделу**

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

Категория помещения по электробезопасности согласно ПУЭ соответствует классу – помещения без повышенной опасности (сухое, хорошо отапливаемое, помещение с токонепроводящими полами, с относительной влажностью воздуха 40-50 %).

Категория тяжести труда в лаборатории по СанПиН 1.2.3685-21 "Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания" относится к категории Пб (Работы, связанные с ходьбой, перемещением и переноской тяжестей до 10 кг и сопровождающиеся умеренным физическим напряжением).

Производственное помещение имеет возможный класс пожара В1-В4. Горючие и трудногорючие жидкости, твердые горючие и трудногорючие вещества и материалы (в том числе пыли и волокна), вещества и материалы, способные при взаимодействии с водой, кислородом воздуха или друг с другом

только гореть, при условии, что помещения, в которых они находятся (обращаются), не относятся к категории А или Б.

Рассмотренный объект, оказывающий незначительное негативное воздействие на окружающую среду, относится к объектам III категории.

## Заключение

Подбор электродов по типу и виду покрытия это очень важная составляющая технологического процесса. Нужно учитывать механические и химические свойства электродов к свариваемой стали. Стоит с большим вниманием отнестись к подбору не только марки электрода, но и его производителя для эффективной работы на производстве.

На качество выполнения технологии сварочного процесса влияет огромное число различных параметров, начиная с человеческого фактора и заканчивая технической оснащённостью производственного помещения. В ходе выполнения данной бакалаврской работы рассмотрены одни из важнейших составляющих сварочного производства, была проведена сравнительная характеристика распространенных марок электродов различных производителей. Выявлены и рассмотрены их сварочно-технологические свойства и химический состав в наплавленном металле. Были подобраны типы электродов и вид покрытия для сварки низколегированных стальных труб. Также разработан теоретическим методом технологический процесс сварки стыка трубы диаметром 159 мм толщиной стенки 10 мм с помощью ручной дуговой сварки подобранными покрытыми электродами. Рассчитаны параметры режимов сварки, расход сварочных материалов. Проанализированы методы подготовки к сварке, процесс сварки, отделочные операции и контроль качества сварных соединений.

Рассчитаны показатели оценки ресурсоэффективности и ресурсосбережения для выявления сильных сторон данной работы с финансовой точки зрения. Произведена оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности.

В разделе социальной ответственности были рассмотрены опасные и вредные факторы для работника в процессе разработки, сборки и эксплуатации

технологии сборки и дуговой сварки труб из разнородных сталей. На основе полученных данных были найдены способы уменьшения влияния вредных факторов и способы устранения опасных. Так же были разработаны меры по уменьшению негативного влияния факторов производства на здоровье человека и окружающую среду.

## Список использованных источников

1. Все о сварочных электродах. [Электронный ресурс]. Электрон. Дан. М., 2012 – URL: <https://weldelec.com>. Дата обращения: 31.04.2022 г.
2. ГОСТ 9466-75. Electroды покрытые металлические для ручной дуговой сварки сталей и наплавки. – М.: Стандартинформ, 2004. – 43 с.
3. Сварка и сварщик. Сварочные электроды. [Электронный ресурс]. Электрон. Дан. М., 2012 – URL: <https://weldering.com/svarka/svarochnye-elektrody>. Дата обращения: 27.05.2022 г.
4. Лепихин С.В. Исследование структуры и эксплуатационных свойств сварных соединений стали 09Г2с, полученных на режимах постоянного тока и низкочастотной модуляции тока / Лепихин С.В. // ИМАШ УрО РАН: науч. исслед. / Лепихин С.В., Двойников Д.А., Каманцев И.С., Кутенева С.В и др. - Екатеринбург, 2017. – 76 с.
5. СпецЭлектрод. Electroды сварочные УОНИ-13/55. [Электронный ресурс]. Электрон. Дан. М., 2010 – URL: <https://www.spetselectrode.ru/electrod/1355.htm>. Дата обращения: 16.05.2022 г.
6. Литвинова Т.Р. Исследование сварочно-технологических свойств покрытых электродов для сварки низколегированных высокопрочных сталей / Литвинова Т.Р. // ФГБОУ ВО ВГТУ науч. исслед. / Литвинова Т.Р. Елсуков С.К., Антипов И.С., Королев М.П. и др. - Волгоград, 2017. – 4 с.
7. Журнал «Инструменты» + «GardenTools» + «Всё для стройки и ремонта» серии «Потребитель» (объединённый выпуск «Лето-осень 2020»)
8. Трущенко Е.А. Технологические основы сварки давлением и плавлением. Сварка плавлением: учебно-методическое пособие / Е.А. Трущенко; Национальный исследовательский Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2010. – 80 с.

9. ГОСТ 9467-75. Электроды покрытые металлические для ручной дуговой сварки конструкционных и теплоустойчивых сталей. Типы. – М.: Стандартиформ, 2008. – 7 с.
10. СТО Газпром 2-2.2-115-2007. Инструкция по сварке магистральных газопроводов с рабочим давлением до 9,8 МПа включительно. – М.: Стандартиформ, 2007. – 92 с.
11. ГОСТ 19282-73. Сталь низколегированная толстолистовая и широкополосная универсальная. Технические условия. – М.: Издательство стандартов, 1987. – 12 с.
12. ГОСТ 10705-80. Трубы стальные электросварные. – М.: Стандартиформ, 2008. – 18 с.
13. ГОСТ 16037-80. Соединения сварные стальных трубопроводов. Основные типы, конструктивные элементы и размеры. – М.: Стандартиформ, 2005. – 24 с.
14. Сварочные аппараты, электроды, сварочная проволока, сварочное оборудование и аксессуары Lincoln Electric [Электронный ресурс]. Электрон. Дан. М., 1999 – URL: <https://www.lincolnelectric.com>. Дата обращения 22.05.2022 г.
15. СТО 9701105632-003-2021. Инструкция по визуальному и измерительному контролю.
16. РД 25.160.00-КТН-011-10. Сварка при строительстве и ремонте магистральных нефтепроводов. – М.: 2010. – 47 с.
17. РД 25.160.10-КТН-016-15. Магистральный трубопроводный транспорт нефти и нефтепродуктов. Неразрушающий контроль сварных соединений при строительстве и ремонте магистральных трубопроводов. – М.: 2015. – 184 с.
18. «Трудовой кодекс Российской Федерации» от 30.12.2001 N 197 – ФЗ (ред. от 30.04.2021).

19. ГОСТ 12.3.003-86. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Работы электросварочные. Требования безопасности. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2003. – 11 с.
20. СанПиН 1.2.3685-21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания.
21. СНиП 23-05-95\*. Естественное и искусственное освещение. – М.: Госстрой России, ГУП ЦПП, 2003. – 59 с.
22. ГОСТ 12.4.254-2013 ССБТ. Средства индивидуальной защиты глаз и лица при сварке и аналогичных процессах. Общие технические условия. – М.: Стандартинформ, 2019. – 31 с.
23. ГОСТ 12.1.019-2017. Межгосударственный стандарт. Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты. – М.: Стандартинформ, 2017. – 20 с.
24. Р 2.2.2006-05. Руководство, по гигиенической оценке, факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда. – М., 2005. – 142 с.
25. ГОСТ 12.2.003-91 ССБТ. Оборудование производственное. Общие требования безопасности. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2001. – 11 с.
26. ГОСТ 12.4.125-83 ССБТ. Средства коллективной защиты работающих от воздействия механических факторов. Классификация. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2003. – 19 с.

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

Дубл.													
Взам.													
Подл.													

ФЮРА 02190 089

1

ТПУ

ФЮРА.01190.01

Стыковое сварное соединение труб диаметром 159 мм

у

Министерство науки  
 МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
 Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего  
 образования  
 «НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ  
 УНИВЕРСИТЕТ»

СОГЛАСОВАЛ  
 Доцент ОЭИ ИШНКБ  
 \_\_\_\_\_ Першина А.А.

УТВЕРДИЛ  
 Доцент ОЭИ ИШНКБ  
 \_\_\_\_\_ Першина А.А.

КОМПЛЕКТ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ  
 на единичный технологический процесс изготовления стыкового сварного  
 соединения труб диаметром 159 мм с толщиной стенки 10 мм из стали  
 09Г2С

ПРОВЕРИЛ  
 Доцент ОЭИ ИШНКБ  
 \_\_\_\_\_ Першина А.А.

ВЫПОЛНИЛ  
 Студент гр. 1В81  
 \_\_\_\_\_ Акимов Р.Р.

Акт № 1 от 30.05.22г

РД 153-34.1-003-01

**ТЛ**

Титульный лист

Дил.			
Взам.			
Подл.			

--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

ФЮРА.02189.091

2

1

Разраб. Акимов Р.Р. 10.05.2022

ТПУ

ФЮРА.20189.002

Проверил

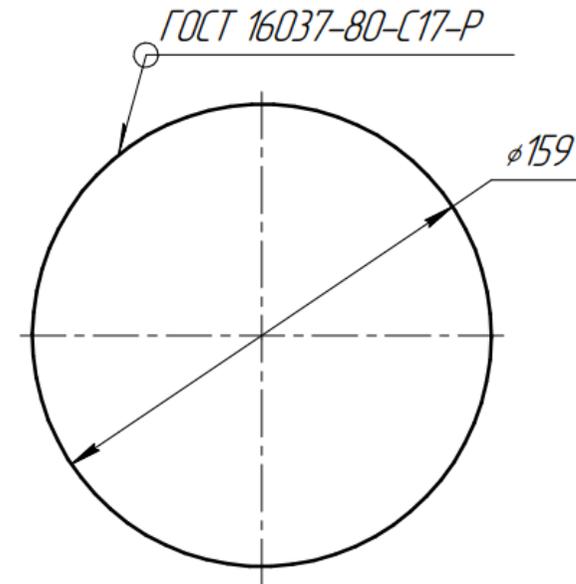
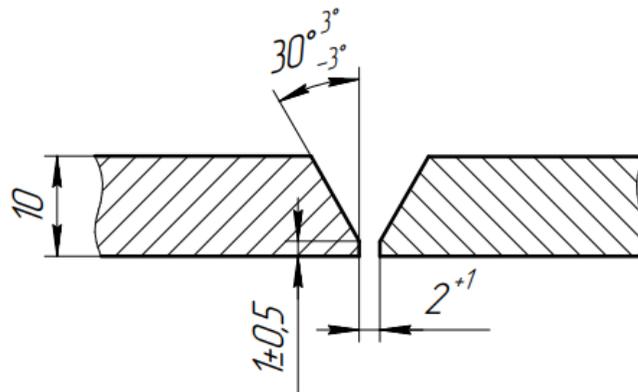
Н. контр. Першина А.А.

Стыковое сварное соединение труб диаметром 159 мм

У

010

## Сборка неповоротного стыка трубопровода



Примечание: Перед сборкой и сваркой труб необходимо:

-произвести визуальный осмотр поверхности труб (при этом трубы не должны иметь недопустимых дефектов, регламентированных техническими условиями на поставку труб);

-очистить внутреннюю полость труб от попавшего внутрь грунта, грязи, снега;

-выпрямить или обрезать деформированные концы и повреждения поверхности труб;

-очистить до чистого металла кромки и прилегающие к ним внутреннюю и наружную поверхности труб на ширину не менее 10 мм.

Допускается правка плавных вмятин на торцах труб глубиной до 3,5% диаметра труб и деформированных концов труб безударными разжимными устройствами. Участки и торцы труб с вмятиной глубиной более 3,5% диаметра трубы или имеющие надрывы необходимо вырезать.

Допускается ремонт сваркой забоин и задирав фасок глубиной до 5 мм. Концы труб с забоинами и задирами фасок глубиной более 5 мм следует обрезать. Сборка труб должна производиться на внутренних или наружных центраторах. При сборке труб с одинаковой нормативной толщиной стенки смещение кромок допускается на величину до 20% толщины стенки трубы, но не более 3 мм при дуговых методах сварки.

КЭ

20











Дубл.																					
Взам.																					
Подл.																					
А	Цех	Уч.	РМ	Опер.	Код,наименование операции					Обозначение документа											
Б	Код,наименование,оборудования								СМ	Проф.	Р	УТ	КР	КОИД	ЕН	ОП	Кшт.	Тпз	Тшт.		
К/М	Наименование детали,сб.единицы или материала								Обозначение,код					ОПП	ЕВ	ЕН	КИ	Н.расх.			
РС1	ПС	НП	DC	lc	lэ	Пл	U	I	Vс	Vn	qоз	qдз	qк	Tu	Tn						
К/М01	Электроды покрытые УОНИ-13/55, Ø3 мм, Ø4 мм								ГОСТ 9467-75												
02	Соединенные трубы на прихватках 159x10 мм								ГОСТ 5264-80												
003	Сварку стыка выполнять сразу после выполнения прихваток или не более чем через 4 часа																				
04	Сварку корневого шва производить электродом Ø3 мм на постоянном токе обратной полярности																				
Р05	В	1				О	24-26	90-100													
006	Сварку выполнять короткой дугой, длина которой не должна превышать диаметра электрода. Дугу обрывать как можно реж																				
07	Перед гашением дуги необходимо заполнить кратер путем постепенного отвода электрода назад на 15-20 мм от шва																				
08	Последующее зажигание дуги производить на кромке трубы или на металле шва на расстоянии 20 мм от кратера																				
09	Зачистить корневой слой шва абразивным инструментом																				
10	Выполнить сварку заполняющего и облицовочного слоёв шва электродами Ø4 мм на постоянном токе обратной полярности																				
Р11	В	2,3				О	26-28	130-150													
012	Производить зачистку швов абразивным инструментом после заполняющего, и после облицовочного слоя																				
13	Облицовочный шов должен иметь высоту 2-4 мм и ширину 16-20 мм																				
Т14	Зубило, молоток, щетка по металлу																				
15																					
<b>OK</b>		Операционная карта																			

**Приложение Б**  
**(обязательное)**  
**Чертеж изготавливаемой конструкции**

Лист: общий

Специф. №

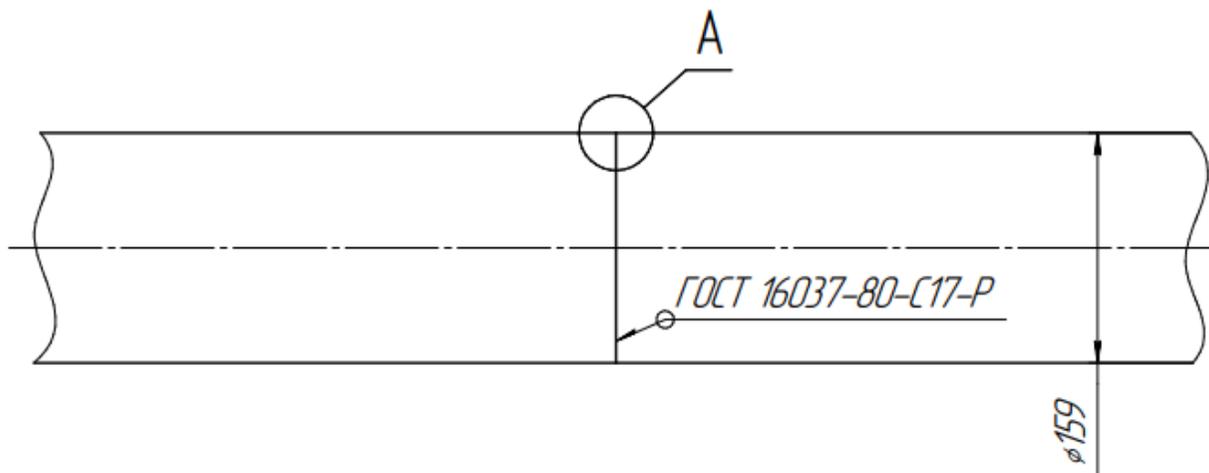
Лист: и дата

Изд № докл

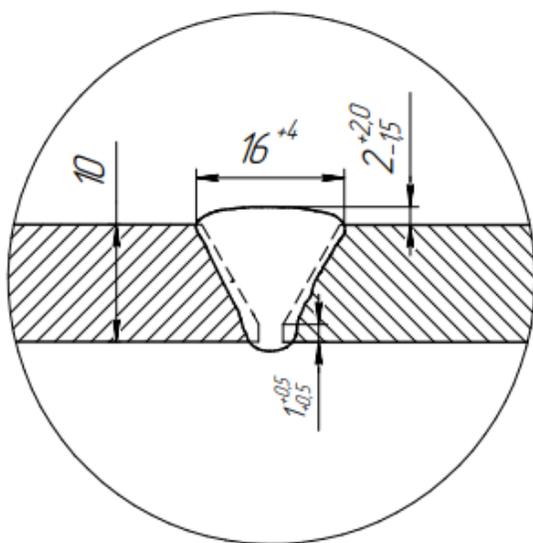
Взам инд №

Лист: и дата

Изд № лист



A(20:1)



Изм	Лист	№ докум	Подп	Дата	Стыковое соединение труб	Лит	Масса	Масштаб
Разраб	Акимова Р.Р.					у		
Проб						Лист	Листов	1
Контр						ТПУ ИШНКБ		
Исконтр	Першина А.А.					Группа 1881		
Утв							Формат А3	

Копировал

Формат А3