

Школа **Инженерная школа неразрушающего контроля и безопасности**
 Направление подготовки **15.04.01 Машиностроение**
 Отделение **электронной инженерии**

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Электронно-лучевая сварка термоизолированной трубы

УДК 621.791.722.012

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1ВМ91	Сорокин Иван Андреевич		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Гнюсов С.Ф.	Д.Т.Н., профессор		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Гасанов М.А.	Д.Э.Н., профессор		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Федорчук Ю.М.	Д.Т.Н., профессор		

Нормоконтроль

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Наталинова Н.М.	к.т.н., доцент		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

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

Планируемые результаты освоения ООП

Код компетенции СУОС	Наименование компетенции СУОС
Универсальные компетенции	
УК(У)-1	Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действий
УК(У)-2	Способен управлять проектом на всех этапах его жизненного цикла
УК(У)-3	Способен организовывать и руководить работой команды, вырабатывая командную стратегию для достижения поставленной цели
УК(У)-4	Способен применять современные коммуникативные технологии, в том числе на иностранном(ых) языке(ах), для академического и профессионального взаимодействия
УК(У)-5	Способен анализировать и учитывать разнообразие культур в процессе межкультурного взаимодействия
УК(У)-6	Способен определять и реализовывать приоритеты собственной деятельности и способы ее совершенствования на основе самооценки
Общепрофессиональные компетенции	
ОПК(У)-1	Способностью формулировать цели и задачи исследования, выявлять приоритеты решения задач, выбирать и создавать критерии оценки
ОПК(У)-2	Способностью применять современные методы исследования, оценивать и представлять результаты выполненной работы
ОПК(У)-3	Способностью использовать иностранный язык в профессиональной сфере
ОПК(У)-4	Способностью осуществлять экспертизу технической документации
ОПК(У)-5	Способностью организовывать работу коллективов исполнителей, принимать исполнительские решения в условиях спектра мнений, определять порядок выполнения работ, организовывать в подразделении работы по совершенствованию, модернизации, унификации выпускаемых изделий, и их элементов, по разработке проектов стандартов и сертификатов, обеспечивать адаптацию современных версий систем управления качеством к конкретным условиям производства на основе международных стандартов
ОПК(У)-6	Способностью к работе в многонациональных коллективах, в том числе при работе над междисциплинарными и инновационными
ОПК(У)-7	Способностью обеспечивать защиту и оценку стоимости объектов интеллектуальной деятельности

ОПК(У)-8	Способностью проводить маркетинговые исследования и подготавливать бизнес-планы выпуска и реализации перспективных и конкурентоспособных изделий в области машиностроения
ОПК(У)-9	Способностью обеспечивать управление программами освоения новой продукции и технологий, проводить оценку производственных и непроизводственных затрат на обеспечение требуемого качества продукции, анализировать результаты деятельности производственных подразделений
ОПК(У)-10	Способностью организовывать работу по повышению научно-технических знаний работников
ОПК(У)-11	Способностью подготавливать отзывы и заключения на проекты стандартов, рационализаторские предложения и изобретения в области машиностроения
ОПК(У)-12	Способностью подготавливать научно-технические отчеты, обзоры, публикации по результатам выполненных исследований в области машиностроения
ОПК(У)-13	Способностью разрабатывать методические и нормативные документы, предложения и проводить мероприятия по реализации разработанных проектов и программ в области машиностроения
ОПК(У)-14	Способностью выбирать аналитические и численные методы при разработке математических моделей машин, приводов, оборудования, систем, технологических процессов в машиностроении
Профессиональные компетенции	
ПК(У)-1	Способностью разрабатывать технические задания на проектирование и изготовление машин, приводов, оборудования, систем и нестандартного оборудования и средств технологического оснащения, выбирать оборудование и технологическую оснастку
ПК(У)-2	Способностью разрабатывать нормы выработки и технологические нормативы на расход материалов, заготовок, топлива и электроэнергии в машиностроении
ПК(У)-3	Способностью оценивать технико-экономическую эффективность проектирования, исследования, изготовления машин, приводов, оборудования, систем, технологических процессов, принимать участие в создании системы менеджмента качества на предприятии
ПК(У)-8	Способностью организовать и проводить научные исследования, связанные с разработкой проектов и программ, проводить работы по стандартизации технических средств, систем, процессов оборудования и материалов
ПК(У)-9	Способностью разрабатывать физические и математические модели исследуемых машин, приводов, систем, процессов, явлений и объектов, относящихся к профессиональной сфере, разрабатывать методики и организовывать проведение экспериментов с анализом их результатов
ПК(У)-10	Способностью и готовностью использовать современные психолого-педагогические теории и методы в профессиональной деятельности

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 **15.04.01 Машиностроение**
 Отделение **электронной инженерии**

УТВЕРЖДАЮ:
 Руководитель ООП

_____ А.С. Киселев
 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

магистерской диссертации

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

Студенту:

Группа	ФИО
1ВМ91	Сорокину Ивану Андреевичу

Тема работы:

Электронно-лучевая сварка термоизолированной трубы	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	50-50/с от 19.02.2021

Срок сдачи студентом выполненной работы:	22.06.2021
--	------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе</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>Процесс электронно-лучевой сварки в вакууме.</p>
---	--

<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Литературный обзор. 2. Материалы, оборудование и методы исследования. 3. Экспериментальная часть. 4. Финансовый менеджмент, ресурсо-эффективность и ресурсосбережение. 5. Социальная ответственность. 6. Заключение.
--	--

<p>Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Название темы, цель, задачи 2. Материалы и методы исследования. 3. Устройство вакуумной электронно-лучевой сварки и режимы сварки. 4. Микроструктура образцов. 5. Финансовый менеджмент и ресурсоэффективность. 6. Выводы по работе.
--	--

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы
(с указанием разделов)

Раздел	Консультант
1-3	Гнюсов С.Ф.
4	Гасанов М.А
5	Федорчук Ю.М.

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

Реферат
1.1 Устройство Трубы лифтовой теплоизолированной
1.2 Обзор отечественных и зарубежных конструкций теплоизолированных труб

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	05.02.2021
--	------------

Задание выдал руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Гнюсов С.Ф.	Д.Т.Н., профессор		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1ВМ91	Сорокин Иван Андреевич		

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

Студенту:

Группа	ФИО
1ВМ91	Сорокину Ивану Андреевичу

Школа	ИШНКБ	Отделение школы (НОЦ)	ОЭИ
Уровень образования	Магистратура	Направление	15.04.01 Машиностроение

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

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	Цена теплоизолированной лифтовой трубы 800 руб/м; Цена металла (листовой прокат) 523 руб/м.
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	Норма амортизации 10%. 30% премии; 20% надбавки; 13,5% дополнительная заработная плата; 16% накладные расходы; 1,3 районный коэффициент.
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	Коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды 30,2 %

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. <i>Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ</i>	-Анализ конкурентных технических решений.
2. <i>Разработка устава научно-технического проекта</i>	-Цель и результат НИ.
3. <i>Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок</i>	Формирование плана и графика разработки: - определение структуры работ; - определение трудоемкости работ; Формирование бюджета затрат на научное исследование: - материальные затраты; - заработная плата (основная и дополнительная); - отчисления на социальные цели; - накладные расходы.
4. <i>Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности</i>	- Определение эффективности исследования

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. <i>«Портрет» потребителя результатов НТИ</i>
2. <i>Сегментирование рынка</i>
3. <i>Оценка конкурентоспособности технических решений</i>
4. <i>Матрица SWOT</i>
5. <i>График проведения и бюджет НТИ</i>
6. <i>Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НТИ</i>
7. <i>Потенциальные риски</i>

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Гасанов М.А.	д.э.н., профессор		27.02.2021

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1ВМ91	Сорокин Иван Андреевич		27.02.2021

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА

«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа 1ВМ91	ФИО Сорокину Ивану Андреевичу
-----------------	----------------------------------

Школа	ИШНКБ	Отделение (НОЦ)	Электронной инженерии
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	15.04.01 «Машиностроение»

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

Тема дипломной работы: «Электронно-лучевая сварка термоизолированной трубы.»

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Изучении структуры сварного шва и зоны термического влияния термоизолированной наружной (несущей) трубой с внутренней трубой (кожухом) полученного с помощью электронно-лучевой сварки в вакууме.
--	---

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<p>1. Производственная безопасность</p> <p>1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</p> <p>1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</p>	<p>1. Вредные факторы:</p> <p>1.1 Недостаточная освещенность;</p> <p>1.2 Нарушения микроклимата, оптимальные и допустимые параметры;</p> <p>1.3 Шум, ПДУ, СКЗ, СИЗ;</p> <p>1.4 Повышенный уровень электромагнитного излучения, ПДУ, СКЗ, СИЗ;</p> <p>1.5 УФИ, СКЗ, СИЗ;</p> <p>1.5 Наличие токсикантов, ПДК, класс опасности, СКЗ, СИЗ;</p> <p>2. Опасные факторы:</p> <p>2.1 Электроопасность; класс электроопасности помещения, безопасные номиналы I, U, R_{заземления}, СКЗ, СИЗ; Проведен расчет освещения рабочего места; представлен рисунок размещения светильников на потолке с размерами в системе СИ;</p> <p>2.2 Пожароопасность, категория пожароопасности помещения, марки огнетушителей, их назначение и ограничение применения; Приведена схема эвакуации.</p>
<p>2. Экологическая безопасность:</p>	<p>Наличие промышленных отходов (бумага-черновики, вторцвет- и чермет, пластмасса, перегоревшие люминесцентные лампы, оргтехника, обрезки монтажных проводов, бракованная строительная продукция) и способы их утилизации;</p>
<p>3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</p>	<p>Рассмотрены 2 ситуации ЧС:</p> <p>1) природная – сильные морозы зимой, (аварии на электро-, тепло-коммуникациях, водоканале, транспорте);</p> <p>2) техногенная – несанкционированное проникновение посторонних на рабочее место (возможны проявления вандализма, диверсии, промышленного шпионажа), представлены</p>

	мероприятия по обеспечению устойчивой работы производства в том и другом случае.
4. Перечень нормативно-технической документации	ГОСТы, СанПиНы, СНиПы

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Федорчук Ю.М.	д.т.н., профессор		20.05.2021

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1ВМ91	Сорокин Иван Андреевич		20.05.2021

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 **15.04.01 Машиностроение**
 Уровень образования **магистратура**
 Отделение **электронной инженерии**
 Период выполнения _____ (осенний / весенний семестр 2020 /2021 учебного года)

Форма представления работы:

магистерская диссертация

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

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН
выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:	22.06.2021
--	------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
11.03.2021 г.	Сбор литературных данных	5
30.03.2021 г.	Стали, применяемая для производства термолифтовых труб	10
03.04.2021 г.	Концентрированные потоки энергии	10
10.04.2021 г.	Материалы, оборудование и методы исследования	15
23.04.2021 г.	Экспериментальная часть	20
20.05.2021 г.	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	10
30.05.2021 г.	Социальная ответственность	10
01.06.2021 г.	Английский язык	10
03.06.2021 г.	Заключение	5
05.06.2021 г.	Презентация	5

СОСТАВИЛ:

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОЭИ	Гнюсов С.Ф.	Д.Т.Н.		

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП

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

Реферат

Выпускная квалификационная работа 119 с., 15 рис., 29 табл., 18 источников.

Ключевые слова: электронно-лучевая сварка, теплоизолированная лифтовая труба, структура сварного шва, зона термического влияния, анализ микроструктуры, электронный луч.

Объектом исследования является: процесс электронно-лучевой сварки в вакууме.

Предмет исследования – сварной шов, термоизолированной наружной (несущей) трубой с внутренней трубой (кожухом) полученного с помощью электронно-лучевой сварки в вакууме.

Цель работы - изучение структуры сварного шва и зоны термического влияния.

В процессе исследования проводились - измерения микротвердости образцов вдавливанием алмазных наконечников, проведен рентгенофазовый анализ.

В результате исследования разработана технология ЭЛС термоизолированной трубы, проведен анализ структуры сварных соединений и зоны термического влияния.

Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики: Высокая концентрация теплоты позволяет за один проход сваривать металлы толщиной от 0,1 до 200 мм, для сварки требуется в 10-15 раз меньше энергии чем для дуговой сварки, отсутствует насыщение расплавленного металла газами.

В будущем технологию сварки термоизолированной трубы планируется внедрить в технологический процесс производства труб с экранно-вакуумной изоляцией на предприятие ООО «НПФ Кубаньнефтемаш».

Область применения: данный способ сварки может применяться в нефтяной и газовой отраслях.

Определения, сокращения и нормативные ссылки

В настоящей работе применены следующие термины с соответствующими определениями.

Электронно-лучевая сварка: Сварка, источником энергии при которой является кинетическая энергия электронов в электронном пучке, сформированном электронной пушкой.

Зона термического влияния (ЗТВ) — объём основного материала, металла или термопластика, который при сварке не доводится до плавления, однако его микроструктура и свойства меняются под воздействием выделяемого тепла.

Труба лифтовая теплоизолированная (ТЛТ) - предназначена для обустройства нефтегазовых месторождений, расположенных в самых сложных условиях нефте- и газодобычи в зоне вечной мерзлоты и/или характеризующиеся наличием газогидратных / асфальтосмолопарафиновых отложений, высокой вязкостью добываемых углеводородов.

В данной работе использованы ссылки на следующие стандарты:

1. СН 2.2.4/2.1.8.562–96 «Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки. Санитарные нормы»
2. ГОСТ 12.1.029-80 ССБТ «Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Средства и методы защиты от шума. Классификация»
3. ГОСТ 12.4.035-78. Система стандартов безопасности труда. Щитки защитные лицевые для электросварщиков.
4. ГОСТ 12.1.005-88 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны (с Изменением N1).
5. ГОСТ 12.1.004-91 «Пожарная безопасность. Общие требования»
6. ГОСТ 12.1.010-76 «Взрывобезопасность. Общие требования»
7. СП 52.13330.2016 «Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95*»
8. СП 12.13130.2009 «Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности»
9. ГОСТ Р 51057-2001 «Огнетушители переносные»
10. СП 60.13330.2012 «Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха»

В настоящей работе использованы следующие сокращения:

q_i – эффективная мощность электронного луча, Вт.

HV — обозначение твёрдости по методу Виккерса

Ллуча - ток луча

Оглавление

Введение.....	16
1. Обзор литературы.....	18
1.1 Устройство Трубы лифтовой теплоизолированной.....	18
1.2 Обзор отечественных и зарубежных конструкций теплоизолированных труб.....	20
1.3 Преимущества теплоизолированной внутрискважинной трубы.....	27
1.4 Стали, применяемые для производства термолифтовых труб.....	28
1.5 Концентрированные потоки энергии.....	29
1.6 Особенности электронно-лучевой сварки в вакууме.....	38
1.7 Постановка задачи.....	41
2. Материалы, оборудование и методы исследования.....	43
2.1 Материал лифтовых труб.....	43
2.2 Оборудование для сварки.....	44
2.2.1 Устройство вакуумной электронно-лучевой сварки и режимы сварки.....	44
2.3 Анализ структуры сварных соединений.....	45
3. Экспериментальная часть.....	46
4. Финансовый менеджмент и ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	51
4.1 Планирование работ по электронно-лучевой сварке теплоизолированной лифтовой трубы.....	51
4.1.1 Анализ конкурентных технических решений.....	51
4.1.2 SWOT – анализ.....	52
4.1.3 Определение возможных альтернатив проведения научных исследований..	56
4.1.4 Оценка готовности проекта к коммерциализации.....	56
4.1.5. Методы коммерциализации результатов научно-технического исследования.....	59

4.1.6	Разработка устава научно-технического проекта.....	60
4.1.7	Определение трудоемкости выполнения работ.....	63
4.1.8	Разработка графика проведения проекта.....	64
4.2	Обоснование необходимых инвестиций для разработки и внедрения ИР.....	69
4.2.1	Бюджет затрат на проектирование.....	69
4.2.2	Расчет материальных затрат проекта.....	69
4.2.3	Основная заработная плата и дополнительная заработная плата исполнителей проекта.....	70
4.2.4	Отчисления в социальные нужды.....	72
4.2.5	Накладные расходы.....	73
4.2.6	Формирование бюджета затрат проекта.....	74
4.3	Определение ресурсной, финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.....	75
5.	Социальная ответственность.....	78
5.1	Введение.....	78
5.2	Производственная безопасность.....	79
5.2.1	Вредные факторы.....	80
5.2.1.1	Производственный шум.....	80
5.2.1.2	Ультрафиолетовое излучение (УФИ).....	83
5.2.1.3	Освещение рабочей зоны.....	84
5.2.1.3	Запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны.....	90
5.2.2	Опасные факторы.....	91
5.2.2.1	Защита от поражения электрическим током.....	91
5.2.2.3	Пожарная опасность.....	94
5.3	Экологическая безопасность.....	97
5.4	Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	98

Заключение.....	101
Список использованных источников.....	103
Приложение А (справочное).....	105

Введение

Перспективы развития газового комплекса России связаны с разработкой крупнейших газоконденсатных и нефтегазоконденсатных месторождений полуострова Ямал (Бованенковское, Харасавэйское, Новопортовское и др.), в геологическом разрезе которых распространены многолетнемерзлые породы (ММП). Эксплуатация скважин в сложных геокриологических условиях часто сопровождается протаиванием и разрушением мерзлых пород в околоствольном пространстве скважин, обвалами грунта на устье скважин, смятием обсадных колонн и перекосом фонтанных арматур, возникновением затрубных и межтрубных газопроявлений, образованием газогидратных пробок и т.д. Все это приводит к увеличению эксплуатационных расходов на ремонт и обслуживание скважин. Актуальными являются вопросы обеспечения термоизоляции обсадных и лифтовых колонн для эффективной надежной эксплуатации скважин на месторождениях, находящихся в районах залегания ММП.

Применение в конструкции скважин северных месторождений теплоизолированных обсадных и лифтовых труб (ТЛТ) позволяет замедлить оттаивание мерзлоты, образование гидратов и парафиновых отложений в скважинах, сократить расстояния между устьями теплоизолированных скважин в кустах, уменьшить температурные потери в термальных и нагнетательных скважинах, увеличить межремонтный период скважин. В настоящее время широкое распространение получило использование ТЛТ при закачке пара в скважину для повышения коэффициента нефтеотдачи на месторождениях с высоковязкой нефтью, а также при добыче используемых для отопления геотермальных вод.[1]

Теплоизолированная труба состоит из двух труб, установленных одна внутри другой. Наружная (несущая) труба и внутренняя труба (кожух) соединены методом РД сварки и создают конструкцию с герметичным межтрубным пространством. Межтрубное пространство заполнено многослойной изоляцией и завакуумировано – давление не более $8 \cdot 10^{-2}$ Па. В ТЛТ применена новая инновационная технология сохранения вакуума в течение длительного срока эксплуатации – применение специальных газопоглотителей (так называемых

геттеров), которые вбирают в себя остаточные газы после вакуумирования и газы, выделяющиеся из металла труб в процессе эксплуатации – в основном это свободный водород. Гарантированный расчетный период сохранения заданного исходного значения вакуума – 30 лет [2].

Поскольку объем производства данных труб постоянно растет возникает задача применения более эффективного способа сварки, чем РДС. Кроме того новый способ сварки должен основываться на непосредственном отсутствии человека в технологическом процессе. В данном контексте наиболее подходящим способом сварки могут выступать концентрированные потоки энергии. Поскольку в производстве ТЛТ на предприятии ООО «НПФ Кубаньнефтемаш» уже используется электронно-лучевая сварка пробки с трубой [ТМ 2018 №6], целесообразно расширить ее применение и на сварные узлы наружной трубы с внутренней.

Цель данной работы заключается в изучении структуры сварного шва и зоны термического влияния термоизолированной наружной (несущей) трубой с внутренней трубой (кожухом) полученного с помощью электронно-лучевой сварки в вакууме.

Для достижения поставленной цели в работе необходимо решить следующие задачи.

1. Провести электронно-лучевую сварку термоизолированной наружной (несущей) трубой с внутренней трубой (кожухом).

2. Вырезать образцы сварных соединений, приготовить шлифы, подобрать травитель для выявления структуры и осуществить анализ микроструктуры сварных соединений.

3. Провести замер микротвердости (HV) по ГОСТ 9450-76 «Измерение микротвердости вдавливанием алмазных наконечников» на приборе ПМТ-3 сварных соединений.

4. Сделать анализ полученных результатов

5. Дать рекомендации о возможности использования ЭЛС термоизолированной наружной (несущей) трубой с внутренней трубой (кожухом) в условиях ООО «НПФ Кубаньнефтемаш».

1 Обзор литературы

1.1 Устройство Трубы лифтовой теплоизолированной

Трубы лифтовые теплоизолированные (ТЛТ) - предназначены для обустройства нефтегазовых месторождений, расположенных в самых сложных условиях нефте- и газодобычи в зоне вечной мерзлоты и/или характеризующиеся высокой вязкостью или парафиноотложением добываемых углеводородов.

Назначение теплоизолированных труб

- для предотвращения растепления скважин в криолитозонах
- для предотвращения газогидратных и асфальтосмолопарафиновых отложений (АСПО)
- для закачки высокотемпературных сред в пласт с целью разогрева высоковязких нефтей, в процессе эксплуатации термоциклических методов добычи углеводородов (в том числе таких как CSS и SAGD)

Конструкция подразумевает установку в межтрубном пространстве экрана из фольги и ткани из базальтового волокна (вмещающей газопоглотители). В межтрубном пространстве создаётся вакуум. Внутри муфты устанавливается фторопластовый теплоизолятор. В конструкции ТЛТ, предназначенной для эксплуатации при высоких температурах, производится «преднатяжение» внутренней трубы.

Применение вакуума для теплоизоляции началось в конце XIX в. При этом теплоизоляция требовалась не для сохранения температуры теплоносителя, а напротив, для того, чтобы предотвратить нагревание сжиженных газов, имеющих отрицательную температуру. Первые опыты с вакуумом, применяемым в качестве теплоизолятора, проводил шотландский физик Джеймс Дьюар, получивший широкую известность в связи с работами по сжижению и низкотемпературным исследованиям газов, в рамках которых он и создал сосуд, впоследствии названный в его честь, – сосуд Дьюара. Данный сосуд представлял собой колбу с узким горлышком и двойными стенками, между которыми выкачан воздух, а обе внутренние поверхности стеклянных стенок покрыты серебром для уменьшения теплопритоков. Дьюар не увидел коммерческих перспектив своего изобретения, а потому не запатентовал его (рисунок 1.1) [1].



Рисунок 1.1. Внешний вид теплоизолированной лифтовой трубы и сосуда Дьюара

В отличие от шотландца стеклодув Р. Бюргер из Берлина разглядел в изобретении Дьюара коммерческий потенциал. Он усовершенствовал конструкцию, поместив хрупкий стеклянный сосуд в кожух из оцинкованного железа, и в 1903 г. получил патент на «сосуд с двойными стенками и вакуумом между ними», основав фирму, получившую название Thermos GmbH. Бытовые сосуды Дьюара, за которыми прочно закрепилось название «термос», ставшее именем нарицательным, с тех пор практически не изменились.

Промышленные технологии теплоизоляции типа «термокейс» получили свое развитие в XX в. и продолжают развиваться. Первые теплоизолированные (криогенные) трубопроводы с экранно-вакуумной изоляцией создавались для заправки космических ракет на стартовых комплексах: по ним в баки подавали криогенное топливо и окислитель – жидкие водород и кислород. Технологии экранно-вакуумной теплоизоляции нашли свое применение в различных отраслях промышленности, в том числе и в нефтегазовой отрасли при производстве теплоизолированных лифтовых труб (ТЛТ) [1].

1.2 Обзор отечественных и зарубежных конструкций теплоизолированных труб

В обзоре конструкций теплоизолированных обсадных и лифтовых труб полезных моделей СССР и РФ, а также 7 патентов США и ФРГ, опубликованные с 1966 года [3].

В 1968 г. авторы патента описали теплоизолированную трубу, в которой тонколистовой экранирующий материал наматывался внахлестку на внутреннюю трубу и снаружи был защищен кожухом.

В 1970 г. авторы предложили в термоизолированной колонне использовать в межтрубном пространстве между наружными и внутренними рядами труб силикат калия в качестве теплоизолирующего материала. Был разработан оригинальный сальниковый узел, который использовался для герметизации при удлинении внутренних труб в секциях, связанных между собой телескопически [4].

W.G. Allen в своем изобретении описал теплоизолированную колонну, в которой используются теплоизолирующий (пенополиуретан) и экранирующий материалы, помещенные в вакуумированное межтрубное пространство между внешней и внутренней трубами [5].

В 1973 г. А.Н. Крашенинников разработал оригинальную конструкцию теплоизолированной трубы [3]. Позже, Р.А. Barber с соавтором рекомендовали на обсадные трубы надевать незащищенную кожухами теплоизоляцию из пенополиуретана плотностью от 300÷600 кг/м³, изготавливаемую в виде полускорлуп, поверхность которых должна экранироваться непроницаемым для нефти и воды материалом [6].

В 1977 г. С.Н. Бузинов, В.С. Смирнов и др. описали конструкцию лифтовой теплоизолированной трубы, состоящую из основной несущей трубы, имеющей резьбовые концы и муфту на одном из них; внутренней металлической трубы–кожуха; металлических гибких элементов – диафрагм, приваренных к основной трубе и кожуху; тепловой изоляции (фенольные пенопласты типа 24 ФРП–1 или пенополиуретаны типа ППУ–309); альфолевого покрытия (фольги), помещенного на наружной поверхности кожуха [5]. Диафрагмы выполняют роль компенсаторов

линейных перемещений свариваемых труб, обеспечивают минимальную утечку тепла по торцам труб и предохраняют тепловую изоляцию от механических и гидравлических нагрузок. Предложено было полуторовое сечение диафрагмы, выполненной из нержавеющей стали с коэффициентом теплопроводности в 3 раза меньше, чем у обычной углеродистой стали. На опытном заводе ВНИИГАЗа были проведены стендовые испытания опытных образцов ЛТТ и совместно с АЗИНМАШем отработана технология изготовления труб [7].

В 1996 г. В.С. Смирнов с соавторами предложили конструкцию лифтовой теплоизолированной трубы с четвертьторовыми диафрагмами, которые способны дольше работать без деформации (разрушения), чем полуторовые диафрагмы (рисунок 1.2). Рекомендуемый расчетный зазор между кожухами на стыках – 2÷5 мм [8].

В конце 70–х гг. В.В. Бобровский, Н.П. Кубарев рекомендовали для закачки пара в пласт использовать теплоизолированную трубу (Н71М1), состоящую из соосно расположенных наружной НКТ с переводниками и внутренней трубы [3]. Концы внутренней трубы жестко соединены с наружной трубой. Заполнение кольцевого зазора между трубами теплоизоляционным материалом (аэрогель) производится в вакууме. Трубы соединяются в колонну с помощью муфты с трапецеидальной резьбой.

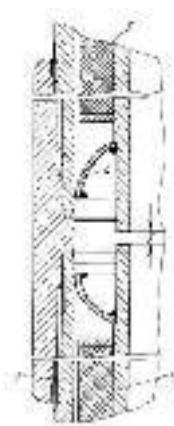


Рисунок 1.2 – Лифтовая теплоизолированная труба; 2 – несущая труба, – герметичный кожух, 3 – теплоизоляция, 4 – четвертьторовая торцовая диафрагма [8]

В 1983 г. D.M. McStravick с соавтором предложили в скважинах для минимизации потерь тепла при закачки пара использовать трубы, состоящие из внешней и внутренней труб, изоляции между ними и на стыке смежных секций труб. Внутренняя труба должна состоять из прямого участка и внешне расширяющегося к концу участка, который приваривается к внешней трубе [5].

В эти же годы были разработаны теплоизолированные НКТ Thermocase (США, General Electric), состоящие из наружной и внутренней труб, а также изоляцией между ними. Изоляция, представляющая собой чередующиеся слои макропористого полимерного материала (эластичное полотно шириной 1,5 мм) и амальгамированной пластиковой пленки (к примеру, майлар), наматывается на цилиндрическую базу, которая покрыта внутри и снаружи амальгамой. Пространство между наружной и внутренней трубами вакуумируется или заполняется низкотеплопроводным газом (например, криптоном) [5].

В 1979 г. А.М. Попов рекомендовал в узле соединения наружных труб теплоизолированной колонны применять теплоизоляцию, состоящую из теплоизолирующих (к примеру, силикат кальция) и экранирующих слоев [3].

В начале 80–х гг. А.М. Попов [9], А.Р. Александров, Г.И. Дюдин и др. предложили в качестве теплоизоляции в теплоизолированной трубе применять закрепленный на асбестовой сетке экранирующий материал (а именно, алюминиевую фольгу) и изоляционный материал (например, асбест) [3].

Позже, А.Р. Александров, А.В. Орлов и др. рекомендовали использовать базальтовый холст и алюминиевую фольгу в качестве теплоизоляции для термоизолированной трубы [3].

В этом же году Е.О. Stephenson и др. рекомендовали использовать в конструкции нагнетательной пар скважины теплоизолированную трубу с многослойной изоляцией или стеклянными микросферами, причем кольцевое пространство между внешней и внутренней трубами заполнено газом низкой проводимости [5].

В 1984 г. F. Ebeling с соавторами [31, 95] предложили для теплоизоляции труб в скважине использовать мягкий пенополиуретан, на который намотана синтетическая лента [5].

В следующем году J.H. Brady и др. рекомендовали в теплоизолированной трубе герметизировать кольцевую полость между наружной и внутренней трубами [5].

В конце 80–х гг. М.В. Артемьев и Ф.Г. Арзамасцев также рекомендовали в теплоизолированной колонне для нагнетания теплоносителя в пласт использовать теплоизолирующий материал аэрогель, размещенный между наружными и внутренними трубами [3].

В начале 90-х гг. для повышения надежности термоизолированных труб Б.А. Чернов и др. предложили в их конструкции использовать втулку с герметизирующим кольцом и муфту с герметизирующими вставками. Втулка и вставки изготовлены из материала с высоким коэффициентом линейного теплового расширения. В.Г. Калбазов, В.А. Сарычев рекомендовали на одном конце теплоизолированной трубы на наружную поверхность нанести резьбу, а другой конец трубы выполнить в виде раструба с резьбовым участком на внутренней поверхности [3]. Причем, пространство между наружной и внутренней трубами заполняется многослойным стекловолокном и вакуумируется.

В середине 90–х гг. А.Я. Стрюков, З.С. Салихов с соавторами предложили использовать ЛТТ–89×133 в эксплуатационных скважинах на Бованенковском НГКМ. Секция представляла собой двухтрубную систему, кольцевое пространство которой герметизировано и заполнено многослойной вакуумированной теплоизоляцией, представляющей собой чередование теплоизолирующего материала (типа ультратонкого стекловолокна) и теплоотражающих экранов (алюминиевая фольга) термостойких до температуры 300÷400 °С.

Рекомендованный коэффициент теплопроводности изоляции – не более $0,01 \frac{\text{ккал}}{\text{м}\cdot\text{ч}\cdot\text{°С}}$.

Давление в кольцевом пространстве порядка должно быть $10^{-1} - 10^{-2}$ мм.рт.ст. В кольцевом пространстве расположены геттеры. Резьбовые соединения изолируются теплоизоляционными втулками с коэффициентом теплопроводности не более $0,06 \frac{\text{ккал}}{\text{м}\cdot\text{ч}\cdot\text{°С}}$. [2].

В конце 90–х гг. А.В. Федосеев, А.Р. Александров, В.А. Рачковский, Г.М. Марченко, Е.А. Спиридович работали над конструкцией термоизолированной

колонны. В это же время В.И. Кудинов, Е.И. Богомольный, М.П. Завьялов и др. предложили в теплоизолированной трубе вакуумировать межтрубное пространство до $10^{-4} - 10^{-3}$ мм.рт.ст, заполненное многослойной экранной изоляцией (слои алюминиевой фольги и стеклянной сетки) [6].

В начале 2000-х гг. З.С. Салихов с соавторами рекомендовали в теплоизолированных трубах на одном конце наружной трубы выполнить резьбу муфты, на другом – резьбу ниппеля, на которую навинчивать сменный переводник. В эти же годы Р.Р. Багиров, С.Д. Бирюков и др. в теплоизолированной колонне предложили использовать сварную внутреннюю трубу, состоящую из 3 частей (рисунок 1.3). Средняя часть – гладкая труба, крайние части – раструбы, приваренные к средней части [2].

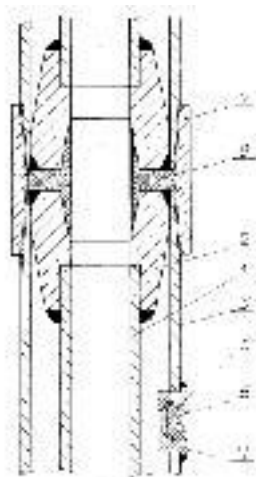


Рисунок 1.3 – Теплоизолированная колонна; 1 – внутренняя труба, 2 – раструб, 3 – наружная труба, 4 – седло, 5 – клапан, 6 – медная прокладка, 7 – муфта, 8 – уплотнительная втулка [2]

По мнению И.Ф. Калачева, Р.Н. Рахманова, Р.М. Шаммасова наружную поверхность теплоизолированной трубы необходимо покрывать коррозионностойким составом, а внутреннюю поверхность теплоотражающим составом [3].

В 2007 г. Р.Р. Багиров и М.П. Завьялов с соавторами отмечали, что для сохранения вакуума в теплоизолированной трубе необходимо в кольцевом пространстве между наружной и внутренней трубами разместить герметизирующее кольцо из политетрафторэтилена [6].

И.В. Щапин с соавторами рекомендовали: межтрубное пространство теплоизолированной трубы вакуумировать ($\sim(10 \div 13) \cdot 10^{-6}$ МПа) и заполнять инертным газом (к примеру, криптон, ксенон); использовать многослойную экранную теплоизоляцию (слой металлической фольги (например, из алюминия или титана) чередуется со слоем теплоизолирующего материала (к примеру, стекловолокно или базальтовое волокно)); применять муфту с изолирующей вставкой (рисунок 1.4) [5].

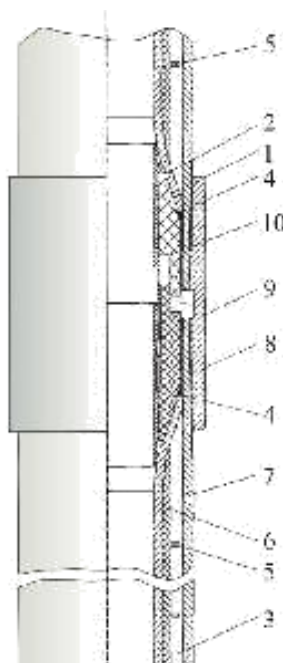


Рисунок 1.4 – Теплоизолированная труба; 1 – наружная труба, 2 – внутренняя труба, 3 – кольцевое пространство между наружной и внутренней трубами, 4 – вакуумно-плотный шов, 5 – центратор, 6 – многослойная теплоизоляция, 7 – отверстие под клапан, 8 – резьба, 9 – муфта, 10 – изолирующая вставка [5]

Н..Д. Цхадая с соавторами разработал для теплоизолированной трубы оригинальный узел соединения наружной и внутренней труб; предложил использовать теплоизоляцию, состоящую из чередующихся слоев теплоизолирующего (например, базальтовый холст) и экранирующего (например, фольга) материалов [5].

Авторы патента В.П. Мелихов, В.Г. Прокопенко и др. предложили для теплоизолированной трубы использовать многослойную изоляцию (например, чередующиеся слои стеклянной сетки и перфорированной фольги). Причем, в середине трубы изоляция дополнительно усиливалась прошитым

теплоизоляционным матом. Межтрубное пространство вакуумировалось до $10^{-10} \div 10^{-11}$ Мпа [6].

В 1989 г. авторы Б.В. Дегтярев и др. рекомендовали в теплоизолированной трубе использовать теплоизолирующий патрубок из пенопласта (к примеру, полиуретана), располагающийся между наружной трубой и порошковой теплоизоляцией. Термическое сопротивление патрубка должно соответствовать термическому сопротивлению теплоизоляции. [1]

В 1992 г. В.И. Божко и др. предложили теплоизолировать трубы нанося на них последовательно: 1) изоляцию толщиной $10 \div 15$ мм из воздушно-базальтоволокнистой смеси; 2) гидроизоляцию (лента из материала, который меняет свою форму и размеры при нагревании). Затем, необходимо $1 \div 5$ мин нагревать трубу при $120 \div 150^\circ\text{C}$. [1]

Авторы А.В. Федосеев, А.Р. Александров и др. рекомендовали для термоизолированной трубы использовать теплоизоляцию из фольги и базальтового волокна, а также устанавливать компенсатор температурного расширения в виде диафрагмы четвертьторового сечения. [1]

В своей работе Н.Д. Цхадая и В.Н. Волков отмечали, что кожух в ТЛТ необходимо выполнять линейно из двух жестко соединяющихся частей, изготовленных из разных металлов, один из которых имеет “память формы” (например, тиникелит титана). При нагреве ТЛТ удлинится часть кожуха, изготовленная из обычного сортамента, а другая часть – одновременно укоротится. Теплоизолирующий материал, расположенный между кожухом и наружными трубами, представляет собой чередующиеся слои из фольги и базальтового холста.[5]

В 2007 г. В.Ф. Буслаев и др. предложили для снижения веса и цены ТЛТ использовать два варианта труб. Первый вариант – труба, изготовленная из эпоксидных смол с добавлением $\sim 20 \div 90$ об.% стеклянных микросфер (0,025 мм). Второй вариант – труба из стали с теплоизоляцией, изготовленной из эпоксидных смол с добавлением ~ 60 об.% стеклянных микросфер. Причем, для этой трубы на теплоизоляцию закрепляется фольга из алюминия. [1]

Для уменьшения теплопотерь и предотвращения отложения парафина С.А. Шакаров с соавторами предложил для термоизолированной трубы: использовать многослойную экранную теплоизоляцию (например, стеклянная сетка и алюминиевая фольга); провести дробеструйную обработку внутренней трубы и внутренней части наружной трубы; внутреннюю трубу нагреть изнутри до 300°С и затем на ее внутреннюю часть нанести силикатно–эмалевое покрытие в 2 и более слоев; межтрубное пространство вакуумировать до $10^{-8} \div 10^{-10}$ мм.рт.ст; на один конец наружной трубы навернуть муфту с уплотнительной втулкой, на другой конец – переводник с уплотнительной втулкой. [1]

В конце 2000–х гг. В.В. Емельянов, В.Н. Коршунов с соавторами предложили в теплоизолированной трубе в качестве теплоизоляции применять полимер со стеклянными микросферами, которые заполнены инертным газом, а также использовать концевые втулки оригинального устройства. М.И. Горилловский и др. рекомендовали применять пенополиуретан, пенополиизоцианурат в качестве теплоизоляции для теплоизолированной трубы. [1]

Авторы А.И. Грехов, В.С. Гончаров и др. рекомендовали для соединения теплоизолированных труб при установке муфты использовать изолирующую вставку, включающую в себя наружную полимерную втулку (к примеру, из фторопласта–4), и изготовленную из металла внутреннюю втулку. [5]

В.А. Моисеев с соавторами отмечали, что в теплоизолированной трубе необходимо использовать теплоизоляцию с поочередно меняющимися слоями, состоящими из базальтового полотна – теплоотражающего материала (к примеру, алюминиевая фольга) – теплоизолирующего материала (к примеру, мультикремнеземистый войлок) – теплоотражающего материала – стеклопластика. На слой стеклопластика предложили крепить защитный слой, представляющий собой пластиковую трубу. [1]

1.3 Преимущества теплоизолированной внутрискважинной трубы

Отличительной особенностью и преимуществом выпускаемой теплоизолированной внутрискважинной трубы является ее низкий

коэффициент теплопроводности который достигается благодаря применяемой технологии вакуумирования;

- Теплофизические свойства теплоизолированной внутрискважинной трубы, надежно обеспечивают процесс проведения термического воздействия в скважинах, гарантируя сохранность обсадных колонн и цементного камня от воздействия высоких температур.

Вакуумная теплоизоляция используется в создании , При этом теплоизоляция такого типа подразделяется на вакуумно-порошковую, вакуумно-волоконистую и вакуумно-многослойную (экранны-вакуумную Мы рассмотрим экранно-вакуумную теплоизоляцию как наиболее эффективную и технологичную, хотя и требующую более тщательного к себе отношения, например, при обеспечении необходимого уровня остаточного давления в теплоизоляционной полости При разработке конструкции трубопровода следует учитывать основные параметры, влияющие на теплоприток из окружающей среды к криогенной жидкости, который включает в себя три составляющие: кондуктивную теплопроводность по так называемым тепловым мостам, радиационный теплообмен и теплопередачу по остаточному газу в теплоизоляционной полости.

1.4 Стали, применяемая для производства термолифтовых труб.

Для сборки ТЛТ применяются трубы изготовленные из стали 35Г2-конструкционная легированная марганцовистая сталь.

Использование в промышленности: валы, полуоси, цапфы, рычаги сцепления, вилки, фланцы, коленчатые валы, шатуны, болты, кольца, кожухи, шестерни и другие детали, применяемые в различных отраслях машиностроения, к которым предъявляются требования повышенной износостойкости.

Таблица 1.1 Химический состав, Массовая доля элементов не более, %

Кремний	Марганец	Медь	Никель	Сера	Углерод	Фосфор	Хром
0,17–0,37	1,4–1,8	0,3	0,3	0,035	0,31–0,39	0,035	0,3

Таблица 1.2 Отечественные аналоги стали

Марка металлопроката	Заменитель
35Г2	40Х

Свариваемость - ограниченно свариваемая.

Способы сварки: (необходим подогрев и последующая термообработка)

Ручная дуговая сварка (РДС) - наиболее распространенный способ, основана на действии электрической дуги, возникающей при контролируемом коротком замыкании.

Ручная аргоно-дуговая сварка (РАД) – осуществляется с помощью неплавящегося вольфрамового электрода.

Автоматическая сварка под флюсом (АФ) - автоматическая сварка ускоряет и упрощает работу, а флюс выполняет защитную функцию, главное достоинство - возможность полной автоматизации процесса сварки.

Контактная точечная сварка (КТС) - особенностями контактной точечной сварки являются: малое время сварки (от 0,1 до нескольких секунд), большой сварочный ток (более 1000А), малое напряжение в сварочной цепи (1-10В, обычно 2-3В), значительное усилие сжимающее место сварки (от нескольких десятков до сотен кг), небольшая зона расплавления

Разные части сварного соединения имеют разную микроструктуру. Условно его можно поделить на три части: основной металл; зона термического влияния; сварной шов.

По степени воздействия высоких температур на металл зона термического влияния делится на участки: участок неполного расплавления,

участок перегрева, участок нормализации, участок неполной кристаллизации, участок рекристаллизации и участок синеломкости.

Участок неполного расплавления является переходным от металла шва до основного металла. Этот участок нагревается выше температуры плавления и находится в твердо-жидком состоянии. В этой области происходит сплавление кристаллов металла шва с основным металлом, поэтому от свойств этого участка зависит во многом качество сварного соединения. Для соединений выполненных дуговой сваркой эта зона составляет 0,1-0,5 мм.

Участок перегрева является зоной значительно перегретого основного металла (1100-1500 °С) крупнозернистой структурой. Для этого участка характерно понижение физических свойств пластичности и ударной вязкости. В соединениях с повышенным содержанием углерода в этой зоне могут образовываться закалочные структуры. Размер участка может достигать 3-4 мм. Чтобы уменьшить этот размер, следует увеличить скорость сварки или выполнять соединение за несколько проходов.

Участок нормализации является нагретым от 930 до 1100 °С основным металлом. Находится металл нагретым до такой температуры недолго и в процессе перекристаллизации формирует мелкозернистую структуру металла. Механические свойства участка повышаются в сравнении с состоянием до сварки. Длина участка от 0,2 до 4-5 мм.

Участок неполной перекристаллизации является областью нагретой до 720-850 °С. Для этого участка характерна неполная перекристаллизация структуры металла. Вокруг зерен феррита в данном участке находятся мелкие зерна феррита и перлита, образовавшиеся в процессе перекристаллизации. Как следует из названия, в этом участке металл не прошел полную перекристаллизацию. Размер участка от 0,1 до 0,5 мм в зависимости от режимов и вида сварки.

Участок рекристаллизации является областью металла нагретого до 450-720 °С. Этот участок можно наблюдать при сварке сталей подвергавшихся пластическим деформациям (при сварке проката). На этом участке наблюдается

восстановление зерен разрушенных при деформации Размер участка от 0,1 до 1,5 мм

Участок синеломкости лежит в промежутку температур от 200 до 450 °С На участке можно увидеть синие цвета побежалости На этом участке не проходит структурных изменений, но для него свойственно снижение пластических деформаций.

1.5 Концентрированные потоки энергии

В настоящее время применение концентрированных потоков энергии в различных сферах человеческой деятельности расширяются в геометрической прогрессии Это особенно заметно в развитых странах, и причем, чем выше уровень развития стран, тем шире области применения КПЭ, особенно лазерной техники и энергии.

Концентрированные потоки энергии, КПЭ — это средства, применяемые для термического воздействия на материалы, в целях проведения технологических операций сварки, термической обработки, резки, размерной обработки, маркирования, напыления, наплавки и тд К числу таких средств относят газовое пламя, электрический разряд, электрическую дугу, пучок электронов, световой луч, поток ионов и тд При воздействии концентрированных потоков энергии реализуется быстрый нагрев ($1 \cdot 10^{12}$ К/с), плавление, испарение и сверхбыстрое ($1 \cdot 10^{10}$ К/с) затвердевание материала Также существует понятие источников КПЭ К ним относятся лазеры, плазмотроны, электронно-лучевые установки и тд.

А также существуют методы обработки, связанных с использованием ускоренных потоков заряженных частиц, лазерного излучения, электронных пучков, плазмы, магнитного и электрического полей, импульсной и ускорительной техники Технологическую перспективность определяют следующие особенности:

1) высокая концентрация энергии, вводимой в зону технологического воздействия, и большое пространственное и временное разрешение в пределах

этой зоны Это обеспечивает локальность и прецизионность обработки при существенно меньших суммарных энергозатратах;

2) малая инерционность процессов вследствие прямого преобразования электрической энергии в энергию технологического воздействия (без промежуточных механических звеньев), практическое отсутствие инструмента (а следовательно, и его износа), механического (динамического) контакта с обрабатываемой деталью Это дает мобильность в управлении, возможность глубокого регулирования режимов обработки в сочетании с простотой позиционирования и закрепления деталей, открывая широкую перспективу эффективного использования технологий ОКПЭ в таких наиболее прогрессивных формах современного машиностроения, как обрабатывающие центры, роторные линии, робототехнические комплексы и гибкие автоматизированные системы на основе микропроцессорной техники и адаптивных управляющих ЭВМ;

3) возможность направленной модификации свойств поверхностного слоя Это позволяет на качественно новом уровне решать одну из важнейших задач - обеспечение оптимального соотношения свойств поверхности и объема материала.

Практически все деградационные процессы (износ, коррозия, рост усталостных трещин), приводящие к отказам изделий, начинаются с поверхности и определяются свойствами относительно тонкого поверхностного слоя Технология ОКПЭ представляет весьма широкий спектр возможностей модификации этих свойств - (плазменное напыление, лазерная наплавка и легирование) При этом отпадает необходимость использования объемно-легированных материалов и появляется возможность в известной степени решить кардинальную задачу машиностроения - повышение надежности и долговечности деталей и машин Это, в свою очередь, позволит существенно сократить фонд запчастей, затраты в нерентабельном ремонтном производстве

4) широкий диапазон уровней технологического воздействия В зависимости от вида энергии, величины ее потока к времени действия

реализуются различные процессы металлофизики, микрометаллургии, фазовых и структурных превращений в обрабатываемом материале. Если за исходное технологическое воздействие, например, на углеродистые стали, принять известные превращения аустенитно-мартенситного класса в твердой фазе, характерные для традиционных методов закалки, то при лазерной, электронно-лучевой или плазменной обработке затрагиваются механизмы тонкой структуры - высокая дисперсность кристаллитов, развитая блочность и повышенная плотность дислокаций. Эффект упрочнения при этом существенно выше и, кроме того, расширяется номенклатура упрочняемых материалов.

Следующей по уровню воздействия можно считать обработку с оплавлением поверхностного слоя и с последующей быстрой закалкой из жидкого состояния. Этот процесс имеет ряд специфических особенностей, связанных с образованием пересыщенных твердых растворов метастабильных фаз, мелкодисперсных структур с высокой плотностью упрочняющей фазы. При лазерной, плазменной и электронно-лучевой обработке с оплавлением различных сталей и чугунов получены весьма высокие значения микротвердости. В режиме оплавления возможно упрочнение малоуглеродистых сталей и даже технического железа. Имеются данные об упрочнении цветных металлов и сплавов. В предельном случае при достаточной скорости охлаждения возможно получение аморфного поверхностного слоя, в котором практически отсутствуют сегрегационные эффекты, границы зерен, дислокаций, что обеспечивает высокие прочностные, антикоррозионные, магнитные свойства. Здесь заканчивается возможность модификации свойств поверхностного слоя за счет собственных внутренних ресурсов материала. И, наконец, более высокий уровень воздействия связан с внесением извне легирующих элементов в твердой, жидкой или газовой фазе. Примером может служить насыщение расплавленным потоком низкотемпературной плазмы поверхности малоуглеродистой стали хромом, марганцем и углеродом, приводящее к пятикратному повышению твердости при суммарном содержании легирующих элементов в слое менее 1%, что свидетельствует об экономическом преимуществе этой технологии. При взаимодействии потоков

энергии с поверхностью в условиях контролируемой атмосферы реализуются процессы химико-термической обработки с образованием соединений на основе, например, углерода, азота, бора и др.

Особенностью поверхностного легирования при использовании ОКПЭ является интенсификация процессов конвективного переноса и стимулированной диффузии и зоне обработки, обусловленная большими градиентами параметров, высокими скоростями реакции, наличием приэлектродных или радиационных эффектов, смещением термодинамического равновесия. Вследствие этого увеличивается глубина легируемого слоя, уровень и равномерность концентрации легирующих элементов, а также возможность высокотемпературного синтеза соединений, которые нельзя получить обычными методами.

Таким образом, при ОКПЭ реализуются практически все известные виды теплофизических и физико-химических превращений в материалах. Это позволяет экономно, производительно и целенаправленно формировать свойства поверхности деталей, оптимальные с точки зрения условий эксплуатации последних.

Методы ОКПЭ применимы практически на всех стадиях и на всех видах машиностроительного производства (заготовительные операции, формообразование, сборка, модификация свойств поверхности деталей машин и инструмента). Широкое применение эти методы находят в восстановительной технологии и ремонтном производстве. Отдельное направление представляет собой использование направленных потоков энергии и физических полей в процессах контроля и измерений.

Рассмотрим некоторые основные технологические операции с применением ОКПЭ.

Разделительные операции. Могут быть представлены процессами резки, вырубки, удаления заусениц, фасонной вырезки и рубки, закругления острых кромок, раскроя в штампах с помощью лазерной и плазменной обработки. Применение ОКПЭ в данном случае стимулируется высокой производительностью процессов, снижением отходов материала и

энергетических затрат, расхода инструмента, возможностью обработки материалов независимо от их физико-механических свойств.

Соединительные операции Связаны с лазерной, электроннолучевой, плазменной сваркой Преимуществами этих технологий являются локальность и прецизионность воздействия, отсутствие общего нагрева и, следовательно, термонапряжений, возможность соединения разнородных и трудносвариваемых материалов (керамика, алюминий, чугун).

Нанесение покрытий с особыми свойствами Основано на использовании методов газоплазменного и плазменного напыления порошковых материалов на поверхность деталей Существует группа технологий, использующих метод осаждения материала из газофазного или плазменного состояния К этой же разновидности ОКПЭ следует отнести лазерную и плазменную наплавку, плакирование.

Формообразование Включает такие операции, как плазменная строжка и плазменно- или лазерно-механическая обработка, получение объемных форм деталей напылением материала, сверление отверстий.

Модификация свойств поверхностного слоя Включает весьма широкую номенклатуру технологических процессов, к которым можно отнести следующие: закалка в твердой фазе, закалка из жидкого состояния, легирование, термохимическая обработка, изменение микрорельефа поверхности Перечисленные технологии позволяют целенаправленно изменять свойства тонкого относительного поверхностного слоя деталей машин и инструмента, что приводит к повышению их служебных характеристик - износостойкости, жаропрочности, коррозионной стойкости, контактной прочности и др Измерения и контроль с применением лазерной техники Одно из наиболее быстро развивающихся направлений связано с высокой производительностью и точностью измерений, возможностью автоматизации и создания адаптивных систем, построенных на принципе активной обратной связи и исключающих субъективные факторы при контроле и измерениях В последнее время получают развитие гибридные технологии и комбинированные методы обработки, основанные на сочетании

нескольких видов технологического воздействия на обрабатываемый материал. Примером может служить плазменное формообразование с одновременным упрочнением поверхности, электроимпульсная обработка в сочетании с пластическим деформированием и ряд других. При решении вопросов о выборе конкретных технологий ОКПЭ необходимо исходить из тщательного технико-экономического анализа с учетом существующих традиционных методов обработки. Это связано с достаточно высокой стоимостью и сложностью технологического оборудования ОКПЭ, а также с повышенными требованиями к технической культуре обслуживающего персонала и квалификации инженерных кадров.

Степень энергоемкости ОКПЭ, например, для упрочняющей обработки, в 3 - 5 раз ниже, чем при печной цементации, но в 2-3 раза выше, чем при закалке с индукционным нагревом. Однако этот показатель следует рассматривать не изолированно, а с учетом общей стоимости всего производства. Так, например, по отношению к простым, цилиндрическим изделиям стоимость лазерной закалки выше по сравнению с индукционной, а по отношению к деталям сложной геометрической формы - существенно ниже.

Принимая во внимание общую тенденцию роста номенклатуры изделий машиностроения, стремление к повышению производительности труда и сокращению трудовых ресурсов, наибольший эффект от применения технологий ОКПЭ достигается в случае их комплексного использования в составе автоматизированных гибких производственных систем.

Системы ОКПЭ, как и механообрабатывающие станки, целесообразно применять при решении определенной задачи, с тем, чтобы наилучшим образом использовать ее высокую производительность. В каждом случае следует выяснить, не требуется ли данную систему в зависимости от объема партии обрабатываемых деталей и годового выпуска встроить в автоматическую линию или производственную ячейку.

Уже имеющийся промышленный опыт свидетельствует о широких возможностях ОКПЭ в деле упрочнения деталей и инструмента, а также в области сварки и резки. При этом становится возможным, например, без потери

заменять дорогостоящие объемнолегированные стали на простые углеродистые, а в ряде случаев улучшать -служебные характеристики изделий, повышая их надежность и долговечность. Все это способствует быстрому развитию и внедрению рассматриваемых технологий в металлоемких отраслях машиностроения. Так, например, на Московском автозаводе им ИАЛихачева разработали и внедряют процессы лазерного упрочнения головки блока и гильзы цилиндров, инструмента, деталей порошковой металлургии, а также лазерной прошивки отверстий газотопливной аппаратуры, резки шаблонов, сварки карданных валов. Электронно-лучевую технологию применяют для восстановления шестерен, сварки воздушных баллонов. Освоена технология упрочнения и восстановления большой номенклатуры деталей и инструмента методами плазменного напыления (например, корпуса водяного насоса, гильзы цилиндров и др.) Технология ОКПЭ на различных стадиях освоения внедряется практически на всех головных предприятиях отрасли.

Процессы ОКПЭ классифицируют по виду энергии, воздействующей на материал, и на основе использования ОКПЭ в конкретных технологических условиях.

В процессе электронно-лучевой обработки используется энергия заряженных частиц, ускоренных в электрическом поле. Значения ускоряющих напряжений зависят от характера технологических процессов. Наиболее широко электронно-лучевую обработку применяют при напылении, термообработке, сварке, размерной обработке и переплаве.

В основе плазменной обработки лежит тепловое воздействие электрического тока, проходящего в газовой среде. В зависимости от способа горения дуги между электродом и изделием" или двумя электродами различают плазменную дугу прямого или косвенного действия. Плазменную обработку применяют при сварке, резке, наплавке, напылении и плазменно-механической обработке изделий.

При лазерном методе обработки материалов используют энергию потока фотонов. Эффективность воздействия потока фотонов на облучаемую поверхность зависит во многом от длины волны лазерного излучения, которая,

в свою очередь, связана с состоянием рабочего тела (твердое, газообразное) В настоящее время лазерная технология, самая молодая из рассматриваемых, находит все более широкое применение при обработке материалов - это упрочнение, наплавка, поверхностное легирование, аморфизация, сварка, резка и пробивка отверстий

1.6 Особенности электронно-лучевой сварки в вакууме

Электронно-лучевая сварка (ЭЛС) является одним из наиболее высокотехнологичных и высокопроизводительных способов сварки Развитие ЭЛС началось с исследований, проведенных в 1950–1957 гг.

Для этого способа сварки, как правило, не используют расходные сварочные материалы (проволоку, электроды, флюсы, защитные газы) По эксплуатационным расходам сварка электронным лучом в вакууме существенно дешевле дуговой сварки в камерах с контролируемой атмосферой Все основные энергетические и геометрические параметры электронного пучка регулируются с высокой скоростью и быстродействием Это позволяет вводить в металл точно дозированную энергию, реализовывать различные технологические приемы и обеспечивать высокую воспроизводимость процесса сварки Можно производить сварку сложных конструкций в углублениях и труднодоступных местах.

При ЭЛС используется кинетическая энергия потока электронов, движущихся с высокими скоростями в вакууме Для уменьшения потери кинетической энергии электронов за счет соударения с молекулами газов воздуха, а также для химической и тепловой защиты катода в электронной пушке создают вакуум порядка 10^{-4} – 10^{-6} мм рт ст Сварка электронным лучом имеет значительные преимущества.

Во-первых, высокая концентрация ввода мощности в изделие, которая выделяется не только на поверхности, но и на значительной глубине в объеме основного металла Фокусировкой электронного луча можно получить пятно нагрева диаметром $2 \cdot 10^{-4}$ – 45 мм, что позволяет за один проход сваривать металлы

толщиной от десятых долей миллиметра до 200 мм В результате можно получить швы, в которых соотношение глубины к ширине провара достигает 20 и более Появляется возможность сварки тугоплавких металлов (вольфрама, тантала и др), керамики Имеет место уменьшение ширины зоны термического влияния по сравнению с другими способами сварки плавлением, что в большинстве случаев повышает качество сварного соединения.

Во-вторых, малое количество затрачиваемой энергии Затраты характеризуются удельной энергией (Дж/см²), приходящейся на единицу площади образуемого соединения:

$$E = \frac{q_u}{J},$$

где q_u – эффективная мощность электронного луча, Вт Поскольку эффективные мощности при ЭЛС близки к мощностям дуговой сварки, то благодаря высокой скорости соединения для получения равной глубины проплавления при ЭЛС требуется вводить энергии в 4...5 раз меньше, чем при дуговой сварке В результате значительно снижаются сварочные остаточные напряжения и деформации изделия

С помощью электронного пучка можно сваривать только электропроводящие материалы, т е металлы, химические соединения и сплавы на их основе, а также некоторые виды керамик и стекол, которые становятся проводимыми в специальных условиях (например, при нагреве) Большинство современных конструкционных металлов и сплавов хорошо свариваются электронным лучом Диапазон свариваемости может быть расширен путем разработки более совершенных технологических приемов сварки, а также путем использования более чистых материалов (с пониженным содержанием примесей, неметаллических включений и газов) Так, применение сталей, полученных методом электрошлакового переплава, позволяет, с одной стороны, получать высококачественные сварные соединения более простыми технологическими приемами при гораздо более низкой доле неисправимого брака, а с другой – сваривать изделия с большим содержанием углерода.

Значения эффективного КПД при ЭЛС порядка 0,85...0,95. Таким образом, благодаря высокой концентрации мощности в направлении распространения тепла при сварке электронный луч – один из самых эффективных, по сравнению с другими сварочными источниками энергии.

В электронно-лучевой сварке применяют следующие технологические приемы для улучшения качества шва:

- сварку наклонным лучом (отклонение на $5—7^\circ$) для уменьшения пор и несплошностей в металле;
- сварку с присадкой для легирования металла шва;
- сварку на дисперсной подкладке для улучшения выхода паров и газов из металла;
- сварку в узкую разделку;
- сварку двумя электронными пушками, при этом одна пушка производит проплавление металла, а вторая формирует корень канала;
- предварительные проходы для очистки и обезгаживания кромок свариваемых металлов;
- двустороннюю сварку одновременно или последовательно;
- развертку электронного луча: продольную, поперечную, X-образную, круговую, по эллипсу, дуге и т.п.;
- расщепление луча для одновременной сварки двух и более стыков;
- модуляцию тока луча частотой 1—100 Гц для управления теплоподачей в сварной шов.

Электронно-лучевая сварка имеет следующие преимущества:

- Высокая концентрация теплоты позволяет за один проход сваривать металлы толщиной от 0,1 до 200 мм;
- Для сварки требуется в 10-15 раз меньше энергии чем для дуговой сварки;
- Отсутствует насыщение расплавленного металла газами.

Недостатки:

- Образование непроваров и полостей в корне шва;
- Необходимость создания вакуума в рабочей камере.

При ЭЛС возможно образование несплавлений и полостей в корне шва на металлах с большой теплопроводностью и швах с большим отношением глубины к ширине, однако по вероятности образования дефектов ЭЛС вряд ли превосходит другие способы сварки. При ЭЛС больших толщин дефекты шва возникают под влиянием различных причин: из-за недостаточной очистки кромок от оксидов и загрязнений, неаккуратной и ненадежной сборки деталей под сварку, недостаточного или, наоборот, чрезмерного тепловложения по длине стыка, неблагоприятной гидродинамики течения расплава в канале проплавления или в связи с пониженной свариваемостью металлов.

Основными причинами, существенно сдерживающими расширение промышленного применения электронно-лучевой сварки, продолжают оставаться высокая стоимость оборудования, его сложность по сравнению с обычным электросварочным оборудованием, необходимость в квалифицированном обслуживающем персонале, слабая подготовка инженерно-технического персонала промышленности в электронно-лучевой сварке, консерватизм конструкторов, ориентирующихся на традиционную технологию. Кроме того отсутствуют новые стандарты, а старые ограничивают технологию изготовления ряда изделий применением традиционных видов сварки. Таким образом, электронно-лучевая сварка все еще продолжает оставаться в значительной степени специальным процессом, применяемым прежде всего там, где невозможно использование других способов сварки, а также в тех случаях серийного и массового производства, когда существенное значение имеет высокая технологическая производительность сварочного процесса, необходимость снижения деформаций, малые эксплуатационные затраты.

1.7 Постановка задачи.

Идея создания термоизолированной трубы (ТЛТ) впервые возникла, когда нефтегазодобывающие компании столкнулись с проблемой освоения месторождений высоковязкой нефти и природного битума. Именно в это время

начали активно развиваться тепловые (термические) методы воздействия на нефтяной пласт Основной задачей ТЛТ стала задача сохранения тепловой энергии флюида в скважине при различных режимах ее эксплуатации.

В наше время широко используются возможности использования КПЭ для сварки термоизолированной трубы При изготовлении термоизолированной трубы особое внимание уделяется вакуумной электронно-лучевой сварке Потому как, плавление большинства металлов в вакууме положительно сказывается на их свойствах Например, при сварке вакуум надежно защищает шов от окисления Особенно это проявляется при сварке высокоактивных в химическом отношении металлов, таких, как цирконий, тантал, титан, молибден и др Кроме того, вакуум защищает металл от попадания в него вредных газов, способствует удалению присутствующих в нем газов и примесей, а также загрязнений с его поверхности.

Условием долговременной работы теплоизолированной вакуумной трубы является надежное соединение между внутренней и внешней трубой Для поддержания вакуума в межтрубный промежуток закладывается газопоглотитель типа St-707 или ГП-ТЦЮ, играющий роль геттерного насоса в процессе нагнетания в скважину перегретого до 350 °С пара.

Цель данной работы заключается в изучении структуры сварного шва и зоны термического влияния термоизолированной наружной (несущей) трубой с внутренней трубой (кожухом) полученного с помощью электронно-лучевой сварки в вакууме.

Для достижения поставленной цели в работе необходимо решить следующие задачи:

- 1) Провести электронно-лучевую сварку термоизолированной наружной (несущей) трубой с внутренней трубой (кожухом).
- 2) Вырезать образцы сварных соединений, приготовить шлифы, подобрать травитель для выявления структуры и осуществить анализ микроструктуры сварных соединений.

- 3) Провести замер микротвердости (HV) по ГОСТ 9450-76 «Измерение микротвердости вдавливанием алмазных наконечников» на приборе ПМТ-3 сварных соединений.
- 4) Сделать анализ полученных результатов
- 5) Дать рекомендации о возможности использования ЭЛС термоизолированной наружной (несущей) трубой с внутренней трубой (кожухом) в условиях ООО «НПФ Кубаньнефтемаш».

2 Материалы, оборудование и методы исследования

2.1 Материал лифтовых труб

В результате проведенной работы были изготовлены два опытных образца теплоизолированных лифтовых труб диаметром 114 мм и толщиной стенки 7 мм, изготовленные из конструкционной, легированной, качественной, марганцовистой стали 35Г2 (химический состав, механические свойства и аналог данной стали представлены в таблицах 2.1, 2.2, 2.3)

Таблица 21 - Химический состав в % стали 35Г2

Марка стали		Вид поставки.									
32Г2		Сортовой прокат ГОСТ 4543-71, ТУ-14-1-4518-88 Поковки ГОСТ-8479-70									
Массовая доля элементов, %, по ГОСТ 4543-71								Температура критических точек, °С			
C	Si	Mn	S	P	Cr	Ni	Cu	Ac ₁	Ac ₃	Ar ₁	Ar ₃
0,31-0,39	0,17-0,37	1,40-1,80	<0,035	<0,035	<0,30	<0,30	<0,30	718	804	677	727
Назначение Для изготовления трубной заготовки, труб нефтегазовой промышленности Валы, полуоси, цапфы, рычаги сцепления, вилки, фланцы, коленчатые валы, шатуны, болты, кольца, кожухи, шестерни и другие детали, применяемые в различных отраслях машиностроения, к которым предъявляются требования повышенной износостойкости.											

Таблица 22 - Механические свойства стали 35Г2

Марка стали	Вид термической обработки	Механические свойства				
		Предел текучести σ_T Н/мм ²	Временное сопротивление σ_B Н/мм ²	Относительное удлинение δ_5 , %	Относительное сужение ψ , %	Ударная вязкость КСУ ⁺²⁰ Дж/см ²
32Г2	Закалка с отпуском.	365	620	13	40	34

Таблица 23 - Отечественные аналоги

Марка металлопроката.	Заменитель.
35Г2	40Х

2.2 Оборудование для сварки.

2.2.1 Устройство вакуумной электронно-лучевой сварки и режимы сварки

В рамках соглашения о научно-техническом сотрудничестве между Томским политехническим университетом и ООО «НПФ Кубаньнефтемаш» были проведены исследования электронно-лучевых сварных соединений труб в одном технологическом режиме откачка вакуума – сварка

Сварка проводилась в «НПФ Кубаньнефтемаш» на электронно-лучевом оборудовании фирмы ООО «ТЭТа» (г Томск) Схема установки (а) и внешний вид сварного соединения (б) представлены на (рисунке 2.2.1) Сварка велась с линейной скоростью перемещения луча (скорость сварки) 12,5 мм/с, $U_{\text{уск}} = 45$ кВ, $I_{\text{луча}} = 40$ мА Материал внутренней и наружной труб, стальных втулок - сталь 32Г2

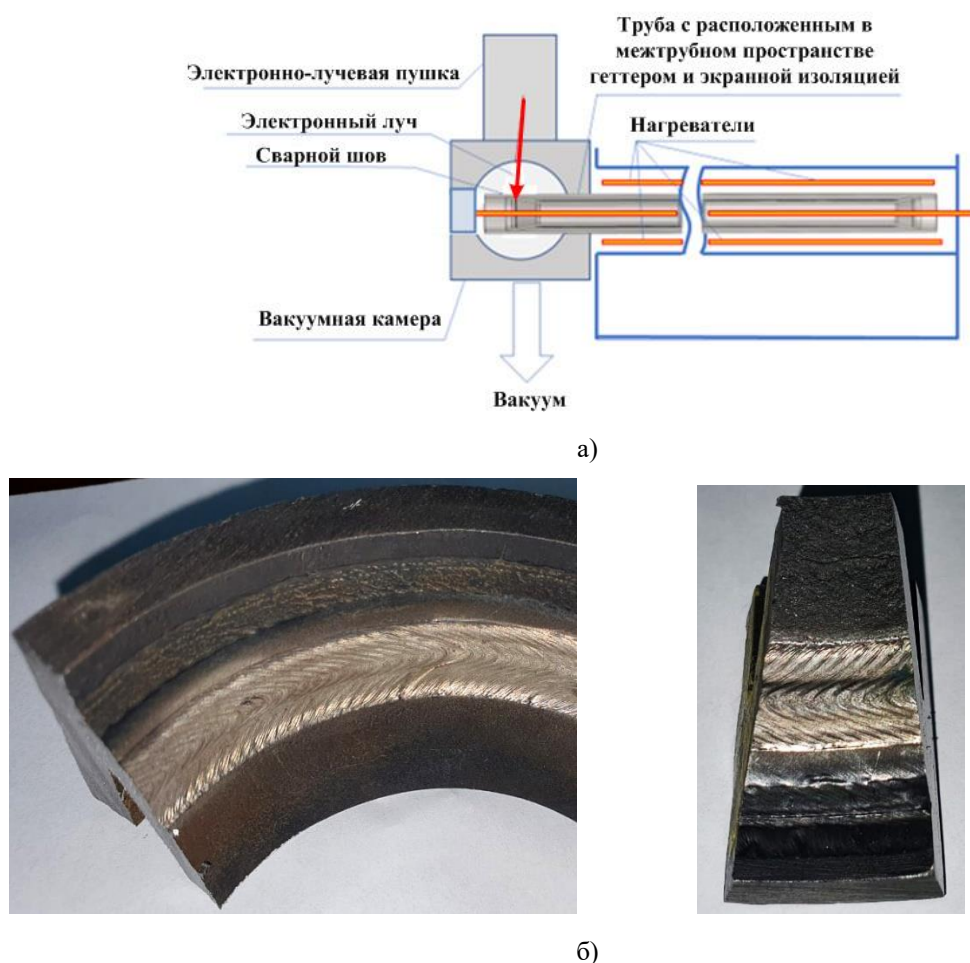


Рисунок 2.2.1 - Схема установки (а) и внешний вид сварного соединения (б).

2.3 Анализ структуры сварных соединений

Анализ микроструктуры сварных соединений проведен с помощью оптического микроскопа Olympus GX51, снабженного анализатором изображений SIAMS 700. Для выявления структуры образцы подвергали химическому травлению 4%-ным раствором HNO_3 в этиловом спирте $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$. Травление осуществлялось при температуре 20°C методом погружения образцов.

Рентгенофазовый анализ (РФА) исходного материала и сварных соединений был выполнен на дифрактометре Shimadzu XRD 6000 в фильтрованном $\text{CoK}\alpha$ –излучении в режиме сканирования в интервале углов 2θ от 40° до 120° , с шагом $0,1^\circ$. Микротвердость (HV) измеряли согласно ГОСТ 9450-76 «Измерение микротвердости вдавливанием алмазных наконечников» на приборе ПМТ-3.

3 Экспериментальная часть

На (рисунке 3.1) представлен общий вид ТЛТ в разрезе с основными ее узлами В качестве внутренней трубы 1 использовали трубу диаметром 73 мм с толщиной стенки 5,5 мм В качестве наружной трубы 5 использовали трубу диаметром 114 мм с толщиной стенки 7 мм, у которых пескоструйным методом обработаны все поверхности.

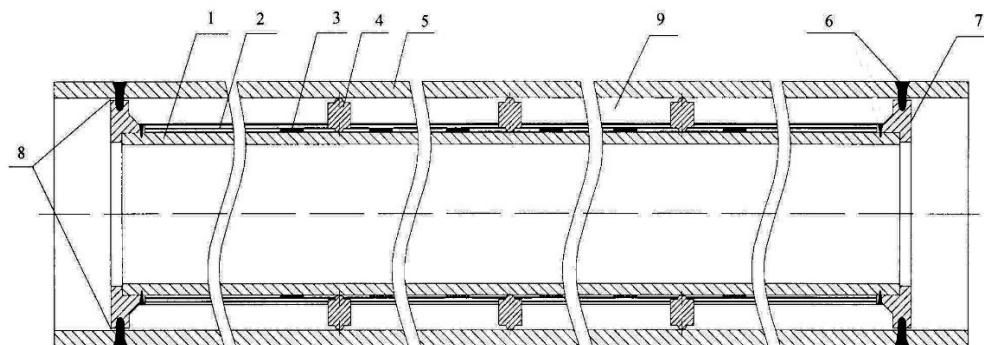


Рисунок 3.1 Общий вид теплоизолированной лифтовой трубы.

На внутреннюю трубу 1 приваривали стальные втулки 7 ручной дуговой сваркой (РДС) На отдельную изоляцию, состоящую из стеклотетки, устанавливали центраторы 4, необходимые для фиксации экранной изоляции Затем на внутреннюю трубу 1 наматывали экранную изоляцию 2, состоящую из алюминиевой фольги, под слоями которой на наружной поверхности внутренней трубы размещали газопоглотители 3 (геттеры) марки ГП-ТЦЮ диаметром 12 мм и толщиной 2,5 мм После этого внутреннюю трубу 1 с центраторами 4 вставляли в наружную трубу 5 и проводили фиксацию втулки к наружной трубе методом РДС в трех точках на расстоянии 30 мм от конца внешней трубы, так чтобы остался зазор для вакуумной откачки межтрубного промежутка.

Затем собранную секцию помещали в установку вакуумной электронно-лучевой сварки ЭЛУ-5, к которой пристыкованы дополнительные секции длиной по 9 м, в одной из которых установлены нагреватели наружной и внутренней труб.

Совместный нагрев внутренней 1 и наружной 5 труб осуществляли до конечной температуры 400°С с созданием в межтрубном пространстве 9 вакуума 10^{-4} - 10^{-3} мм ртст и выдерживали 2 часа до полного обезгаживания. Вакуум 10^{-4} - 10^{-3} мм ртст в межтрубном пространстве 9 создавали путем откачивания газов через зазоры 8 между втулками 7 и внешней трубой 5, создавая в нем сначала форвакуум не более 0,113 мм ртст, а затем высокий вакуум 10^{-4} - 10^{-3} мм ртст.

Электронно-лучевую сварку наружной трубы и зафиксированной на ней втулки проводили по двум технологическим режимам используя эффект кинжального проплавления. Первый - проплавление всей толщины наружной трубы и части втулки (б) как показано на (рисунке 2). Второй - проплавление всей толщины втулки и части наружной трубы электронным лучом в нижнем положении изнутри трубы при наклоне луча 30-45°. В обоих случаях ЭЛС общая глубина сварного шва составляла 9-10 мм. После сварки проводили дополнительный проход расфокусированным электронным лучом для устранения подрезов, вызванных сваркой остросфокусированным электронным лучом, и отпуска сварного соединения для устранения образования неравновесных (мартенситно-бейнитных) структур. Предварительный нагрев внутренней и наружной труб до температуры 400°С дополнительно способствовал распаду неравновесных структур. Затем перемещали трубу вдоль под сварку второго стыка.

Вышеуказанные режимы нагрева, вакуумирования и сварки электронным лучом в вакуумной среде обеспечивали наиболее полное удаление газов с поверхности труб в межтрубном пространстве секции колонны и быструю активацию газопоглотителей, исключающих накопление газов в межтрубном пространстве колонны во время ее эксплуатации. Это будет способствовать повышению теплофизических характеристик секции колонны и ее эксплуатационную надежность.

На (рисунке 3.2) представлена исходная микроструктура трубной стали 32Г2. Сталь 32Г2 имеет исходную феррито-перлитную микроструктуру с перлитом пластинчатой морфологии и величиной микротвердости равной

2510±80 МПа В стали прослеживается явная вытянутость ферритных зерен и перлитных колоний, сформированная в результате пластической деформации (протяжки) Встречаются отдельные мелкие поры и неметаллические включения, что приводит к дополнительному растравливанию этих участков Перлит как в стали 20, так и в стали 32Г2 имеет пластинчатую морфологию и по объемной доле соответствует данным сталям

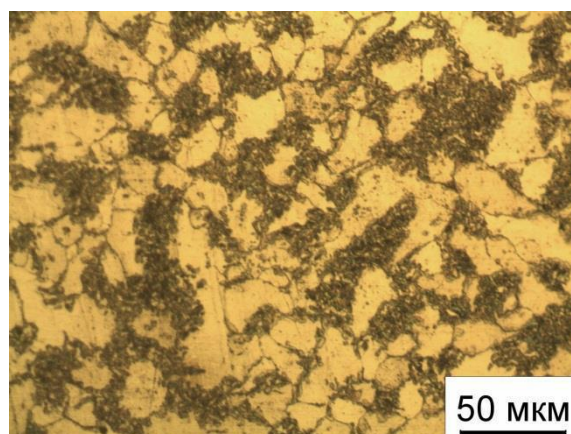


Рисунок 3.2 - Исходная микроструктура стали 32Г2

На (рисунке 3.3а) представлена макроструктура сварного шва полученного проплавлением всей толщины втулки и части наружной трубы электронным лучом в нижнем положении изнутри трубы при наклоне луча 30-45° Общая высота сварного соединения составляет 9,2 мм.

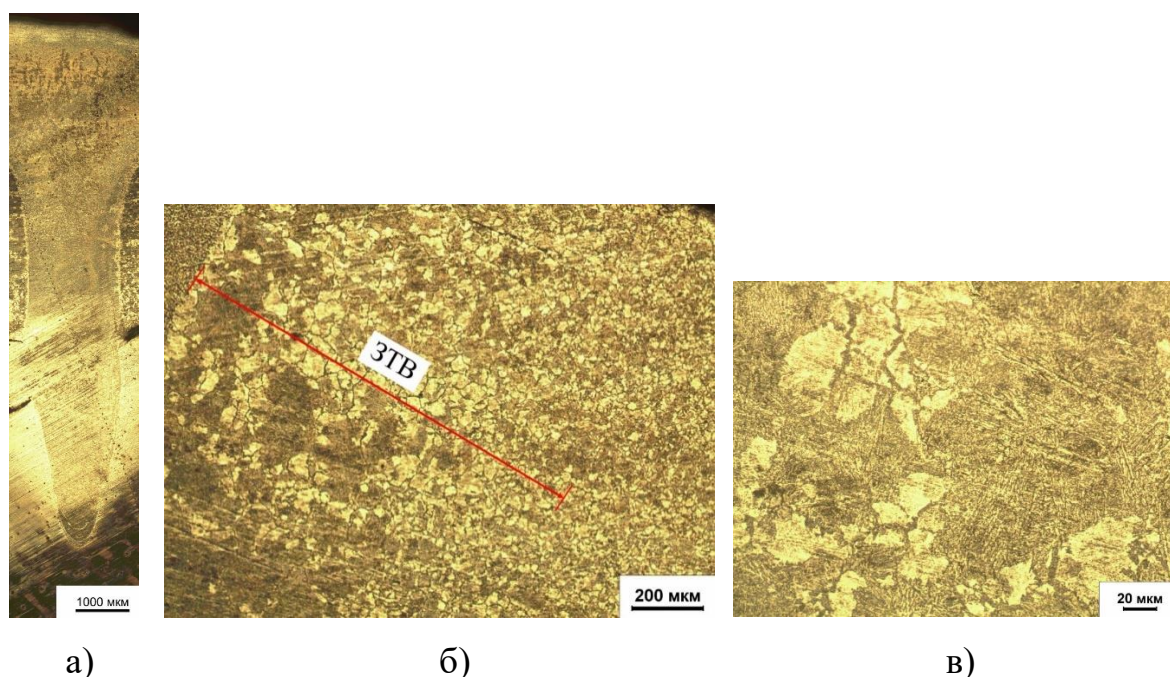


Рисунок 3.3 Макроструктура сварного шва (а) и микроструктура зоны термического влияния (б,в).

Сварной шов представлен дисперсной феррито-перлитной микроструктурой, (рисунок 3.4а).

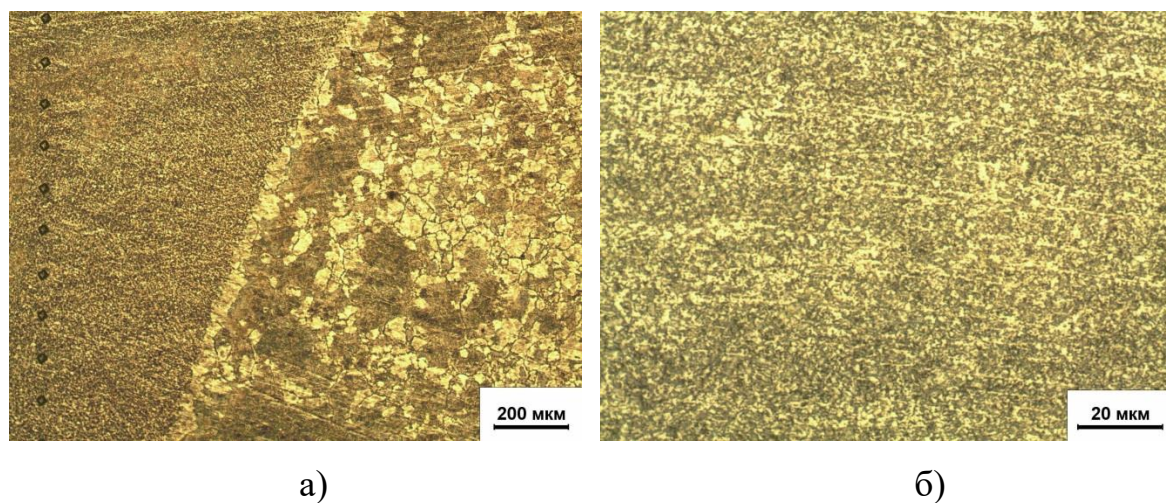


Рисунок 34 Микроструктура сварного шва (а) и зоны термического влияния(б).

Протяженность зоны термического влияния составляет ~ 1200 мкм, (рисунок 3.3б) На линии сплавления сварной шов – ЗТВ формируется тонкая корочка из кристаллитов феррита, (рисунок 3.4а) В непосредственной близости к линии сплавления в ЗТВ явно просматриваются зерна феррита в окружении перлитных колоний пластинчатой морфологии, (рисунок 3.3б,в) По мере удаления от линии сплавления структура становится более однородной и мелкозернистой феррито-перлитной (рисунок 3.3б) характерной для основного металла.

Данные особенности микроструктуры сварного шва обуславливают изменения в уровне микротвердости измеренной по оси сварного шва через зону термического влияния и основного металла, (рисунок 3.5) В объеме металла сварного шва микротвердость по мере приближения к корню увеличивается до 2500 ± 200 МПа, что связано в основном за счет эффекта кинжального проплавления Минимальные значения твердости (2300 ± 200 МПа) в области усиления шва связаны с дополнительным проходом расфокусированным электронным лучом, что способствовало дополнительному отпуску этого объема материала.

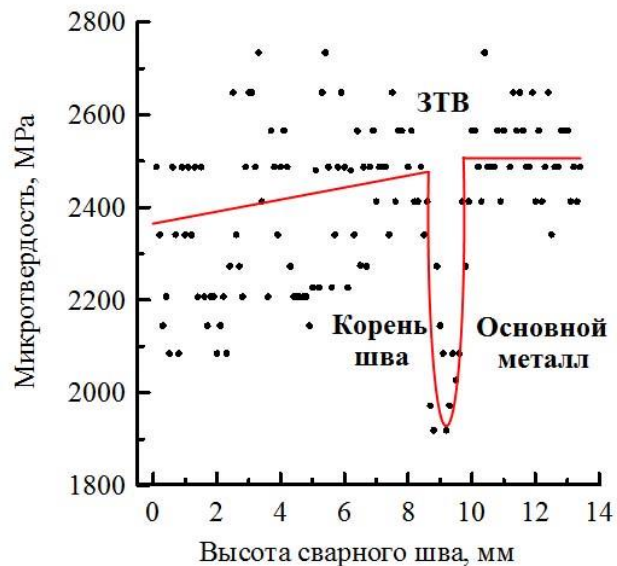


Рисунок 3.5 Изменение микротвердости по оси сварного шва через зону термического влияния и основного металла.

В зоне термического влияния микротвердость падает до значений 1900...2000 МПа, что связано с формированием крупных ферритных зерен в этом объеме материала, (рисунок 3.3б) Далее твердость соответствует исходному материалу стали 32Г2 Аналогичные изменения микроструктуры и микротвердости характерны и для сварного шва сформированного проплавлением всей толщины наружной трубы и части втулки.

Таким образом, применение предлагаемого способа сборки секции теплоизолированной колонны позволит:

- снизить тепловые потери колонны и вероятность разгерметизации секций и колонны в целом;
- повысить эксплуатационную надежность колонны;
- повысить производительность и качество изготовления секций теплоизолированной колонны.

4 Финансовый менеджмент и ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Выпускная квалификационная работа по теме «Электронно-лучевая сварка термоизолированной трубы» выполняется в рамках научно-исследовательской работы для организации.

Цель данной работы заключается в изучении структуры сварного шва и зоны термического влияния термоизолированной наружной (несущей) трубой с внутренней трубой (кожухом) полученного с помощью электронно-лучевой сварки в вакууме.

Данный способ электронно-лучевой сварки успешно внедрен в технологию изготовления теплоизолированных вакуумных труб в ООО «НПФ Кубаньнефтемаш».

4.1 Планирование работ по электронно-лучевой сварке теплоизолированной лифтовой трубы

4.1.1 Анализ конкурентных технических решений

Для увеличения конкурентных преимуществ проекта проведем анализ конкурентных технических решений посредством составления оценочной карты в таблице 4.1.

Объектом анализа и сравнения являются электронно-лучевая сварка ($B_{к1}$), лазерная сварка ($B_{к2}$), дуговая микросварка ($B_{к3}$), которые используются при сварки теплоизолированной лифтовой трубы по различным технологическим режимам сварки.

При оценке качества конкурентных технических решений используем технические и экономические критерии разработок. Веса критериев оценки в общей сумме равны 1. Баллы по каждому критерию оценки определяются по пятибалльной шкале.

Таблица 4.1 - Оценочная карта сравнения конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Бк1	Бк2	Бк3	Кк1	Кк2	Кк3
1	2	3	4		5	6	
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Удобство в эксплуатации	0,08	4	4	3	0,32	0,32	0,24
2. Энергоэкономичность	0,1	5	4	4	0,50	0,40	0,40
3. Качество сварного шва	0,09	5	5	4	0,45	0,45	0,36
4. Повышение производительности	0,06	5	4	4	0,30	0,24	0,24
5. Надежность	0,07	5	5	4	0,35	0,35	0,28
6. Безопасность	0,07	4	4	4	0,28	0,28	0,28
7. Простота эксплуатации	0,06	5	5	4	0,30	0,30	0,24
Экономические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Конкурентоспособность	0,08	5	5	5	0,40	0,40	0,40
2. Уровень проникновения на рынок	0,07	5	5	5	0,35	0,35	0,35
3. Предполагаемый срок эксплуатации	0,06	4	5	4	0,24	0,30	0,24
4. Цена	0,09	5	4	5	0,45	0,36	0,45
5. Послепродажное обслуживание	0,06	4	4	5	0,24	0,24	0,0
6. Срок выхода на рынок	0,06	5	4	5	0,30	0,24	0,30
7. Наличие сертификации разработки	0,05	4	5	5	0,20	0,25	0,25
Итого	1				4,68	4,48	4,33

Наивысшая оценка ресурсоэффективности по техническим и экономическим критериям приходится на электронно-лучевую сварку [17].

4.1.2 SWOT – анализ

SWOT – анализ – метод оценки факторов внешней и внутренней среды для разрабатываемого технического решения по освоению электронно-лучевой сварки теплоизолированной лифтовой.

В таблице 4.2 определим: Сильные стороны проекта: С1, С2, С3, С4; Дополнительные возможности проекта: В1, В2, В3, В4; Слабые стороны проекта: Сл.1; Сл.2; Сл.3; Сл.4; Угрозы проекта: У1; У2; У3; У4.

Таблица 4.2 - Матрица первого этапа SWOT – анализа

	Сильные стороны проекта: С1. Наличие руководителя проекта С2. Заявленная экономичность и энергоэффективность технологии С3. Широкая область применения С4. Актуальность проекта	Слабые стороны проекта: Сл1. Отсутствие подобной разработки проекта Сл2. Настройка оборудования Сл3. Значительный срок поставок материалов и комплектующих для разработки проекта Сл4. Отсутствие квалифицированного персонала.
Возможности: В1. Использование инновационной инфраструктуры ТПУ В2. Появление дополнительного исследования В3. Повышение стоимости конкурентных разработок В4. Получение качественных сварных соединений		
Угрозы: У1. Появление новых технологий У2. Несвоевременное финансовое обеспечение проекта У3. Введение дополнительных государственных требований и сертификации проектной разработки		

Интерактивные матрицы проекта представлены в таблицах 4.3-4.6.

Таблица 4.3 - Интерактивная матрица возможностей и сильных сторон проекта

		Сильные стороны проекта			
		С1	С2	С3	С4
Возможности проекта	В1	-	+	+	+
	В2	+	+	+	+
	В3	+	+	-	+
	В4	-	+	+	+

Анализ интерактивной таблицы 4.3 позволил выявить сочетание сильных сторон и возможностей, это: В1 С2 С3 С4; В2 С1 С2 С3 С4; В3 С3 С4; В4 С2 С3 С4.

Таблица 4.4 - Интерактивная матрица возможностей и слабых сторон проекта

Слабые стороны проекта					
Возможности проекта		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4
	В1	-	+	+	+
	В2	+	+	+	+
	В3	+	+	-	+
	В4	-	+	+	+

Анализ интерактивной таблицы 4.4 позволил выявить сочетание слабых сторон и возможностей, это: В1 Сл1 Сл3 Сл4; В2 Сл1 Сл3; В3 Сл2 Сл4; В4 Сл1 Сл2 Сл3.

Таблица 4.5 Интерактивная матрица угроз и сильных сторон проекта

Сильные стороны проекта					
Угрозы проекта		С1	С2	С3	С4
	У1	-	-	-	+
	У2	+	-	+	+
	У3	-	-	+	+

Анализ интерактивной таблицы 4.5 позволил выявить сочетание сильных сторон и угроз, это: У1 С4; У2 С1 С3 С4; У3 С3 С4.

Таблица 4.6 - Интерактивная матрица угроз и слабых сторон проекта

Слабые стороны проекта					
Угрозы проекта		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4
	У1	+	+	+	-
	У2	+	+	+	-
	У3	-	-	-	+

Анализ интерактивной таблицы 4.6 позволил выявить сочетание слабых сторон и угроз, это: У1 Сл1 Сл2 Сл3; У2 Сл1 Сл2 Сл3.

Таким образом, по анализу интерактивных таблиц можно составить итоговую матрицу SWOT-анализа (таблица 4.7).

Таблица 4.7 - Матрица SWOT

	Сильные стороны проекта	Слабые стороны проекта
	<p>С1. Наличие руководителя проекта</p> <p>С2. Заявленная экономичность и энергоэффективность технологии</p> <p>С3. Широкая область применения</p> <p>С4. Актуальность проекта</p>	<p>Сл1. Отсутствие подобной разработки проекта</p> <p>Сл2. Настройка оборудования</p> <p>Сл3. Значительный срок поставок материалов и комплектующих для разработки проекта</p> <p>Сл4. Отсутствие квалифицированного персонала</p>
<p>Дополнительные возможности проекта</p> <p>В1. Использование инновационной инфраструктуры ТПУ</p> <p>В2. Появление дополнительного исследования</p> <p>В3. Повышение стоимости конкурентных разработок</p> <p>В4. Получение качественных сварных соединений</p>	<p>Получение нового оборудования для ЭЛС.</p> <p>Возможность создания партнерских отношений с предприятиями для совместной работы в области электронно-лучевой сварки</p>	<p>Снижение цен на технологии, используемые в ЭЛС. Требуется длительное время для введения нового оборудования в эксплуатацию.</p> <p>Сотрудничество с зарубежными специалистами имеющими опыт работы с ЭЛС и повышение квалификации рабочих</p>
<p>Угрозы проекта</p> <p>У1. Появление новых технологий</p> <p>У2. Несвоевременное финансовое обеспечение проекта</p> <p>У3. Введение дополнительных государственных требований и сертификации проектной разработки</p>	<p>Экономическая эффективность оборудования ЭЛС в единичном и мелкосерийном производствах Российской Федерации. Повышение квалификации рабочих предприятий, т.к. тема актуальна и есть современные технологические разработки оборудования</p>	<p>Расширение области применения за счет развития новых технологий</p>

4.1.3 Определение возможных альтернатив проведения научных исследований

Для определения возможных альтернатив проведения проектной технологической разработки составим морфологическую матрицу (таблица 4.8)

Таблица 4.8 - Морфологическая матрица

	1	2	3
А. Способ защиты	Вакуум	Отдельный подвод	Комбинированный
Б. Защита	Пучок электронов	Луч	Электронный луч
В. Конструктивное исполнение	Герметизация и вакуум	Заданные параметры пучка электронов	Прямолинейное
Г. Приведение в рабочее состояние	Ручное включение	Автоматическое включение	Постоянно в рабочем состоянии
Д. Электронный луч находится	Установка энергетического комплекса	Специальный механизм	-

Возможные варианты решения технической задачи (таблице 4.8):

В первом случае: А2 Б3 В2 Г2 Д2 – качественная ЭЛС тонколистовых конструкций из сталей и алюминия;

Во втором случае: А3 Б2 В3 Г1 Д1 – ЭЛС тонколистовых металлов со специальной формой шва;

В третьем случае: А1 Б1 В1 Г1 Д2 – ЭЛС тонколистовых конструкций обеспечивающие требуемое качество сварного соединения [19].

4.1.4 Оценка готовности проекта к коммерциализации

Для оценки готовности проекта к коммерциализации заполним таблицу 8.9, содержащую показатели о степени проработанности проекта с позиции коммерциализации и компетенциям разработчика научного проекта.

Степень готовности научного проекта к коммерциализации оценивается по пятибалльной шкале каждому показателю.

При оценке степени проработанности научного проекта 1 балл означает не проработанность проекта, 2 балла – слабую проработанность, 3 балла – выполнено, но в качестве не уверен, 4 балла – выполнено качественно, 5 баллов – имеется положительное заключение независимого эксперта.

Для оценки уровня имеющихся знаний у разработчика система баллов принимает следующий вид: 1 означает не знаком или мало знаю, 2 – в объеме теоретических знаний, 3 – знаю теорию и практические примеры применения, 4 – знаю теорию и самостоятельно выполняю, 5 – знаю теорию, выполняю и могу консультировать.

Оценка готовности научного проекта к коммерциализации (или уровень имеющихся знаний у разработчика) определяется по формуле:

$$B_{\text{сум}} = \sum_i B_i \quad (1)$$

где $B_{\text{сум}}$ – суммарное количество баллов по каждому направлению;
 B_i – балл по i -му показателю.

Значение $B_{\text{сум}}$ от 75 до 60, то такая разработка считается перспективной, а знания разработчика достаточными для успешной ее коммерциализации. Если от 59 до 45 – то перспективность выше среднего. Если от 44 до 30 – то перспективность средняя. Если от 29 до 15 – то перспективность ниже среднего. Если 14 и ниже – то перспективность крайне низкая.

Таблица 4.9 - Бланк оценки степени готовности научного проекта к коммерциализации

№ п/п	Наименование	Степень проработанности проекта	Уровень имеющихся знаний у разработчика
1	Определен имеющийся научно-технический задел	4	3
2	Определены перспективные направления коммерциализации научно-технического задела	4	3

Продолжение таблицы 4.9

3	Определены отрасли и технологии для предложения на рынке	4	3
4	Определена товарная форма научно-технического задела для представления на рынок	2	2
5	Определены авторы и осуществлена охрана их прав	4	1
6	Проведена оценка стоимости интеллектуальной собственности	4	2
7	Проведены маркетинговые исследования рынков сбыта	2	1
8	Разработан бизнес-план коммерциализации научной разработки	4	1
9	Определены пути продвижения научной разработки на рынок	4	1
10	Разработана стратегия реализации научной разработки	4	2
11	Проработаны вопросы международного сотрудничества и выхода на зарубежный рынок	1	1
12	Проработаны вопросы использования услуг инфраструктуры поддержки, получения льгот	2	1
13	Проработаны вопросы финансирования коммерциализации научной разработки	2	1
14	Имеется команда для коммерциализации научной разработки	3	2
15	Проработан механизм реализации научного проекта	4	2
	Итого баллов	48	26

Рассчитаем и дадим оценку готовности научного проекта к коммерциализации.

$$B_{\text{сум}} = 48 + 26 = 74 \text{ балла} \quad (1)$$

Результаты оценки степени готовности научного проекта к коммерциализации (таблица 4.9) – разработка проекта считается перспективной, а знания инженера достаточными для успешной его коммерциализации.

Объем инвестирования в текущую разработку проекта предполагается в размере 300 тыс. руб.

Для дальнейшей проработки проекта требуется его внедрение на производство, это даст возможность выявить негативные факторы, влияющие в процессе производства на эффективность использования ресурсов.

Уровень компетенций недостающих разработчику: эффективные коммуникации, мотивация, ограничения в принятии решений.

Для реализации проекта привлечение специалистов в команду не требуется.

4.1.5 Методы коммерциализации результатов научно-технического исследования

Задача данного раздела магистерской диссертации – это выбор метода коммерциализации объекта исследования и обоснование его целесообразности.

При коммерциализации научно-технического проекта разработки технологии электронно-лучевой сварки трубы в одном технологическом режиме откачка вакуума – сварка

Для продвижения технологии электронно-лучевой сварки на рынок магистрант планирует применить метод коммерциализации объекта исследования – Инжиниринг.

Инжиниринг самостоятельный вид коммерческих операций предполагает предоставление на основе договора инжиниринга одной стороной, именуемой консультантом, другой стороне, именуемой заказчиком, разработки новой технологии ЭЛС для внедрения в производство на предприятии заказчика.

Метод коммерциализации – Инжиниринг позволит дальнейшее усовершенствование имеющихся производственных процессов на предприятии заказчика с целью экономии его ресурсов и повышению качества выполняемых работ [25].

4.1.6 Разработка устава научно-технического проекта

Цель проекта:

Разработка в технологию изготовления теплоизолированной вакуумной трубы способа электронно-лучевой сварки (ЭЛС) трубы в одном технологическом режиме откачка вакуума – сварка.

Результат проекта:

Отработана технология электронно-лучевой сварки трубы, в одном технологическом режиме откачка вакуума и отпуска ранее сформированного ЭЛС неразъемного соединения. Данный способ сварки позволил полностью исключить брак (10%) связанный с нарушением герметичности в месте уплотнения и нарушения вакуумплотного соединения.

На основе полученных результатов работы данный способ электронно-лучевой сварки успешно внедрен в технологию изготовления теплоизолированных вакуумных труб в ООО «НПФ Кубаньнефтемаш».

Информация по заинтересованным сторонам проекта представлена в таблице 4.10.

Таблица 4.10 - Заинтересованные стороны проекта

Заинтересованные стороны проекта	Ожидания заинтересованных сторон
ООО «НПФ Кубаньнефтемаш»	Снижение брака связанный с нарушением герметичности в месте уплотнения и нарушения вакуумплотного соединения при изготовлении теплоизолированных вакуумных труб

В таблице 4.11 представим информацию о иерархии целей проекта и критериях достижения целей. Цели проекта включают цели в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения.

Таблица 4.11 - Цели и результат проекта

Цели проекта:	Разработка в технологию изготовления теплоизолированной вакуумной трубы способа электронно-лучевой сварки.
Ожидаемые результаты проекта:	Снижение брака на 10%, связанного с нарушением герметичности в месте уплотнения и нарушения вакуумплотного соединения
Критерии приемки результата проекта:	Внедрение в технологию изготовления теплоизолированной вакуумной трубы способа электронно-лучевой сварки.
Требования к результату проекта:	Требование:
	Устав проекта описывает цели, ожидаемые результаты.
	Организационная структура проекта соответствует возможностям исполнителей.
	Успешная отработка технологии ЭЛС трубы в одном технологическом режиме откачка вакуума – и отпуска ранее сформированного ЭЛС неразъемного соединения.
	Конкурентное техническое решение.

Рабочая группа проектной технологической разработки состоит из двух человек: руководитель проекта и инженер. Планирование работ позволяет определить этапы и содержание работ, распределение обязанностей исполнителей (таблица 4.12).

Таблица 4.12 - Перечень этапов работ и распределение исполнителей

Основные этапы работы	№ работ	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение проектного технического задания по электронно-лучевой сварки соединений трубы	Руководитель проекта
Выбор документов для проектирования	2	Сбор базовой информации	Инженер
	3	Календарное планирование работ	Руководитель проекта
экспериментальные исследование	4	Проведение электронно-лучевой сварки соединений трубы по различным технологическим режимам	Инженер
		Проведение на ряде труб электронно-лучевой сварки труб	
	6	Замер микротвердости (HV) по ГОСТ 9450-76 «Измерение микротвердости вдавливанием алмазных наконечников» на приборе ПМТ-3 сварных соединений	Руководитель проекта
	7	Анализ микроструктуры всех сварных соединений	
	8	Рентгенофазовый анализ основного металла и сварных соединений	
Оценка и обобщение результатов	9	Оценка эффективности полученных результатов	Руководитель проекта
Контроль и координирование проекта	10	Контроль качества выполнения проекта и консультирование инженера-проектировщика	Руководитель проекта
Разработка технической документации и проектирование	11	План проведения работ	Инженер
	12	Разработка технологической, структурной и функциональной схемы, схемы автоматизации, схемы технологических режимов сварки	
	13	Электронная схема	
Оформление отчета по проекту технической разработки	14	Составление эксплуатационно-технической документации	Инженер
	15	Составление спецификации оборудования и материалов, других средств	

Проектной технологической разработки электронно-лучевой сварки теплоизолированной лифтовой трубы реализуется в семь этапов. Основные работы выполняются инженером проектной рабочей группы [30].

4.1.7 Определение трудоемкости выполнения работ

Основная часть стоимости проектной технологической разработки – трудовые затраты, выраженные в рабочем времени (чел./дн.), затраченном на выполнение проекта и носящие вероятностный характер.

$$t_{ож_i} = \frac{3t_{min_i} + 2t_{max_i}}{5}, \quad (2)$$

где:

$t_{ож_i}$ – 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.

По рассчитанной трудоемкости работ, определяется продолжительность одной работы в рабочих днях (T_{pi}), учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями. Вычисление необходимо для обоснованного расчета заработной платы, т.к. удельный вес зарплаты в общей проектно-сметной стоимости составляет приблизительно 65%.

$$T_{pi} = \frac{t_{ож_i}}{Ч_i}, \quad (3)$$

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

Результаты расчета отражены в таблице 4.13.

4.1.8 Разработка графика проведения проекта

Диаграмма Ганта – горизонтальный ленточный график, на котором работы по разрабатываемому проекту показываются временными отрезками с датами начала и окончания выполнения этапов работ. Длительность каждого из этапов работ из рабочих дней переведем в календарные дни с использованием формулы:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}} \quad (4)$$

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, определяется по следующей формуле:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}} \quad (5)$$

где:

$T_{\text{кал}} = 365$ – количество календарных дней в 2021 году;

$T_{\text{вых}}$ – количество выходных дней в 2021 году;

$T_{\text{пр}}$ – количество праздничных дней в 2021 году.

Приведем пример расчета первого этапа работ – «Составление и утверждение проектного технического задания по электронно-лучевой сварки соединений трубы».

$$t_{\text{ож}_i} = \frac{3t_{\text{min}_i} + 2t_{\text{max}_i}}{5} = \frac{3 \cdot 2 + 2 \cdot 6}{5} \approx 4 \text{ чел./дн.};$$

$$T_{pi} = \frac{t_{\text{ож}_i}}{Ч_i} = \frac{4}{1} = 4 \text{ дня}$$

Для руководителя проекта при шестидневной рабочей недели коэффициент календарности равен:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вык}} - T_{\text{пр}}} = \frac{365}{365 - 66 - 6} = 1.25;$$

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}} = 4 \cdot 1.25 = 5 \text{ дней}$$

Для инженера проекта при пятидневной рабочей недели коэффициент календарности равен:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вык}} - T_{\text{пр}}} = \frac{365}{365 - 116 - 6} = 1.50;$$

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}} = 5 \cdot 1.50 \approx 8 \text{ дней}$$

Все рассчитанные значения занесены в таблицу 4.13.

Таблица 4.13 - Временные показатели проведения проекта технологической разработки

Содержание работы	Трудоемкость работ						Длительность работ в рабочих днях		Длительность работ в календарных днях	
	t _{min} , чел/дни		t _{max} , чел/дни		t _{ожд} , чел/дни		T _{pi}		T _{ki}	
	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер
Составление и утверждение проектного технического задания по электронно-лучевой сварки соединений трубы	2	6		4		4			5	
Сбор базовой информации		5		6		5		5		8
Календарное планирование работ	2		4		3		3		4	
Проведение электронно-лучевой сварки соединений трубы по различным технологическим режимам		6		12		8		8		13
Проведение на ряде труб аргонодуговой сварки крышечки к телу трубы с использованием присадочного материала – проволоки марки Св-08		3		6		4		4		6
Замер микротвердости (HV) по ГОСТ 9450-76 «Измерение микротвердости вдавливанием алмазных наконечников» на приборе		2		5		3		3		4

Продолжение таблицы 4.13

ПМТ-3 сварных соединений										
Анализ микроструктуры всех сварных соединений	2		5		3		3		4	
Рентгенофазовый анализ основного металла и сварных соединений	2		5		3		3		4	
Оценка эффективности полученных результатов	3		5		4		4		5	
Контроль качества выполнения проекта и консультирование инженера-проектировщика	5		8		6		6		8	
План проведения работ		10		15		12		12		18
Разработка технологической, структурной и функциональной схемы, схемы автоматизации, схемы технологических режимов сварки		10		15		12		12		15
Электронная схема		5		7		6		6		9
Составление эксплуатационно-технической документации		5		10		7		7		11
Составление спецификации оборудования и материалов, других средств		5		8		6		6		9
Итого:	16	51	33	84	22,8	64,2	22,8	64,2	28,5	92,2

На основе полученных данных в таблице 4.13 построим календарный план-график по максимальной длительности исполнения работ (таблица 4.14) с использованием построения диаграммы Ганта в Excel [28].

Таблица 4.14 – Календарный план-график проведения работ по электронно-лучевой сварки теплоизолированной лифтовой трубы

№	Название задачи	Исполнители	Дата начала	Дата окончания	Длительность	Продолжительность выполнения работ		
1	Составление и утверждение проектного технического задания по ЭЛС соединений трубы	Руководитель проекта	10.01.2021	15.01.2021	5			
2	Сбор базовой информации	Инженер	16.01.2021	24.01.2021	8			
3	Календарное планирование работ	Руководитель	25.01.2021	29.01.2021	4			
4	Проведение ЭЛС соединений трубы по различным технологическим режимам	Инженер	30.01.2021	12.02.2021	13			
5	Проведение на ряде труб ЭЛС соединений трубы	Инженер	13.02.2021	19.02.2021	6			
6	Замер микротвердости (НV) по ГОСТ 9450-76 «Измерение микротвердости вдавливанием алмазных наконечников» на приборе ПМТ-3 сварных соединений	Инженер	20.02.2021	24.02.2021	4			
7	Анализ микроструктуры всех сварных соединений	Руководитель	25.02.2021	01.03.2021	4			
8	Рентгенофазовый анализ основного металла и сварных соединений	Руководитель	02.03.2021	06.03.2021	4			
9	Оценка эффективности полученных результатов	Руководитель	07.03.2021	12.03.2021	5			
10	Контроль качества выполнения проекта и консультирование инженера-проектировщика	Руководитель	13.03.2021	21.03.2021	8			
11	План проведения работ	Инженер	21.03.2021	08.04.2021	18			
12	Разработка технологической, структурной и функциональной схем автоматизации и технологических режимов сварки	Инженер	09.04.2021	24.04.2021	15			
13	Электронная схема	Инженер	25.04.2021	04.05.2021	9			
14	Составление эксплуатационно-технической документации	Инженер	05.05.2021	16.05.2021	11			
15	Составление спецификации оборудования и материалов, других средств	Инженер	17.05.2021	26.05.2021	9			

■ - руководитель проекта;

■ - инженер.

По данным графика (таблица 4.14) сделаем вывод:

– начало технической разработки проекта – вторая декада января, конец третья декада мая;

– продолжительность работ по проектированию электронно-лучевой сварки теплоизолированной лифтовой трубы составит 14 декад;

– длительность выполнения проекта Руководителем в календарных днях равна 30 дней.

Длительность выполнения проекта Инженером в календарных днях равна 93 дня.

Общая продолжительность выполнения проекта 123 дня.

ИР 4.2 Обоснование необходимых инвестиций для разработки и внедрения

4.2.1 Бюджет затрат на проектирование

При планировании бюджета проекта отражаются все виды расходов, связанных с его выполнением. Ниже представлена группа расходов, формирующая бюджет проекта:

- материальные затраты;
- основная заработная плата исполнителей;
- дополнительная заработная плата исполнителей;
- отчисления в социальные фонды (ПФР, соцстрах, медстрах);
- накладные расходы.

4.2.2 Расчет материальных затрат проекта

К материальным затратам относят покупные канцелярские товары, сырье и материалы. Цены на материалы просчитаны по среднему значению по г. Томску.

Таблица 4.15 - Материальные затраты

№ п/п	Наименование	Количество единиц	Цена за ед., руб.	Затраты на материалы (Зм), руб
1	Теплоизолированная лифтовая труба	50	16	800
2	Металл (листовой прокат)	10	52,3	523
3	Итого, руб.	-	-	1323

В общей сумме материальные затраты составили 1323 рублей.

4.2.3 Основная заработная плата и дополнительная заработная плата исполнителей проекта

Статья по заработной плате включает основную заработную плату ($Z_{\text{осн}}$) и дополнительную заработную плату ($Z_{\text{доп}}$). Рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{пл}} = Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}} \quad (6)$$

Основная заработная плата руководителя проекта и инженера рассчитывается:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_p \quad (7)$$

где

T_p – продолжительность работ, выполняемых исполнителем проекта, раб.дн.;

$Z_{\text{дн}}$ – среднедневная заработная плата исполнителей проекта, руб.

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_M \cdot M}{F_d} \quad (8)$$

где

Z_M – месячный должностной оклад исполнителя проекта, руб.;

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

при отпуске в 28 раб.дн. $M = 11$ месяцев, 5-дневная неделя;

при отпуске в 56 раб. дн. $M = 10$ месяцев, 6-дневная неделя;

F_d – действительный годовой фонд рабочего времени исполнителей проекта, раб. дн.

Месячный должностной оклад работника рассчитывается по формуле:

$$Z_M = Z_{\text{ТС}}(1 + k_{\text{пр}} + k_d)k_p \quad (9)$$

где

$Z_{\text{ТС}}$ – заработная плата по тарифной ставке, руб.;

$k_{\text{пр}}$ – премиальный коэффициент, равный 30 % от $Z_{\text{ТС}}$;

k_d – коэффициент доплат и надбавок, принимаем 0,2;

k_p – районный коэффициент для Томска равен 1,3.

Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей проекта учитывают:

- доплаты за отклонения от нормальных условий труда;
- выплат, связанных с обеспечением гарантий и компенсаций.

Дополнительная заработная плата составляет 15-20% от основной заработной платы.

Расчет дополнительной заработной платы:

$$Z_{\text{доп}} = Z_{\text{осн}} \cdot k_{\text{доп}} \quad (10)$$

где $k_{\text{доп}}$ – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проекта принимаем равным 0,15).

Оклады исполнителей проекта приняты для расчета в соответствии с занимаемыми должностями ТПУ.

Приведем примеры расчета заработной платы:

1. Руководителя проекта (шестидневная рабочая неделя):

$$Z_M = Z_{\text{ТС}}(1 + k_{\text{пр}} + k_d)k_p = 27000 \cdot (1 + 0.3 + 0.2) \cdot 1.3 = 52650.00 \text{ руб}$$

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_M \cdot M}{F_d} = \frac{52650 \cdot 10}{365 - 66 - 6} = 1796,93 \text{ руб}$$

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_p = 1796,93 \cdot 22,8 = 40970,00 \text{ руб}$$

$$Z_{\text{доп}} = Z_{\text{осн}} \cdot k_{\text{доп}} = 40970 \cdot 0,15 = 6145,50 \text{ руб}$$

2. Инженера (пятидневная рабочая неделя):

$$Z_M = Z_{\text{ТС}}(1 + k_{\text{пр}} + k_d)k_p = 16800 \cdot (1 + 0.3 + 0.2) \cdot 1.3 = 32760.00 \text{ руб}$$

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_M \cdot M}{F_d} = \frac{32760 \cdot 11}{365 - 116 - 6} = 1348,15 \text{ руб}$$

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_p = 1348,15 \cdot 64,2 = 86551,23 \text{ руб}$$

$$Z_{\text{доп}} = Z_{\text{осн}} \cdot k_{\text{доп}} = 86551,23 \cdot 0,15 = 12982,68 \text{ руб}$$

Расчетные данные по заработной плате исполнителей проекта приведем в таблице 4.16.

Таблица 4.16 - Расчет заработной платы исполнителей проекта

Исполнители проекта	Зтс, руб.	кпр	кд	кр	Зм, руб	Здн, руб.	Тр, раб. дн.	Зосн, руб.	кдоп	Здоп, руб.	Всего, руб.
Руководитель проекта	27000	0,3	0,2	1,3	52650	1796,93	22,8	40970,00	0,15	6145,50	47115,50
Инженер	16800				32760	1348,15	64,2	86551,23		12982,68	99533,91

Расчетные данные в таблице 4.16 показали, что:

- оклад руководителя проекта выше, чем у инженера;
- длительность работы в проекте больше у инженера;
- итоговая общая заработная плата инженера выше, чем у руководителя за счет длительности работы в проекте.

4.2.4 Отчисления в социальные нужды

Законодательством РФ определены нормативы отчислений в социальные фонды на заработную плату работников: на социальное страхование, пенсионный фонд, медицинское страхование.

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется:

$$Z_{внеб} = k_{внеб} (Z_{осн} + Z_{доп}) \quad (11)$$

где $k_{внеб}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (на 2019 г. в соответствии с ФЗ от 24.07.2009 №212-ФЗ (новой редакции) установлен размер страховых взносов равный 30%: ПФР – 22 %; ФСС – 2,9 %; ОМС – 5,1 %) [25].

В таблице 4.17 отражены результаты по расчету начислений в социальные фонды.

Таблица 4.17 - Расчет начислений в социальные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.	Дополнительная заработная плата, руб.
Руководитель проекта	40970,00	6145,50
Инженер	86551,23	12982,68
Коэффициент отчислений в социальные фонды	0,3	
Итого:		
Руководитель проекта	14134,65 руб.	
Инженер	29860,17 руб.	

Начисления в социальные фонды (таблица 4.17) производились с учетом суммирования сумм начислений основной и дополнительной заработной платы руководителя проекта и инженера.

4.2.5 Накладные расходы

Накладные расходы состоят из прочих затрат реализации проекта: электроэнергия, услуги связи, интернет и др.

Затраты на аренду спецоборудования. В статью включаются затраты, связанные с арендой специального оборудования у ТПУ для проекта, необходимого для проведения проектных работ. Определение стоимости спецоборудования производится по действующим прейскурантам в г. Томске (таблица 4.18).

Таблица 4.18 - Затраты на аренду спецоборудования

№	Наименование оборудования	Стоимость аренды оборудования, руб./день	Количество дней аренды спецоборудования	Общая стоимость аренды, руб.
1	Электронно-лучевая пушка	500	23	11500
2	Рабочая камера (для вакуума)	500	23	11500
3	Специальная установка для микросварки	500	23	11500
4	Установка для сварки крупногабаритных изделий с полной герметизацией места стыка	500	23	11500

Продолжение теблицы 4.18

5	Универсальная установка для сварки изделий средних размеров	500	23	11500
	Итого:			57500,00

Затраты на аренду спецоборудования составят 57500 рублей.

Затраты на электроэнергию за 23 дня составят: 1500 Вт * 4,04 = 6060руб.

Величина накладных расходов определяется:

$$Z_{\text{накл}} = k_{\text{нр}} \sum \text{статей} \quad (12)$$

где $k_{\text{нр}}$ – коэффициент, учитывающий накладные расходы, примем в размере 15 %.

Таким образом, расчет накладных расходов произведем по суммированным по статьям затрат: аренды специального оборудования и электроэнергии.

$$Z_{\text{накл}} = k_{\text{нр}} \sum \text{статей} = 0,15(57500 + 6060) = 63560 \text{ руб}$$

Накладные расходы составили 63560 руб.

4.2.6 Формирование бюджета затрат проекта.

В таблице 4.19 рассчитаем бюджет затрат на проект технологической разработки электронно-лучевой сварки теплоизолированной лифтовой трубы.

Таблица 4.19 - Бюджет затрат проекта

№	Затраты по статьям					
	Сырье, материалы (за вычетом возвратных отходов) покупные изделия	Основная заработная плата	Дополнительная заработная плата	Накладные расходы	Отчисления на социальные нужды	Итого плановая себестоимость
1	1323	127521	19128	63560	43994	255526
2	5000	150500	25000	80000	70500	331000

Бюджет общих затрат (таблице 4.19) проекта технологической разработки электронно-лучевой сварки теплоизолированной лифтовой трубы составит 255526 руб. При этом затраты у конкурентов составляют 331000 рублей, из чего можно сделать вывод что полученный продукт будет экономичней, чем у конкурентов.

4.3 Определение ресурсной, финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности разработки:

$$I_{\Phi}^P = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{max}}$$

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта определяется

$$I_m^a = \sum_{i=1}^n a_i b_i^a, I_m^p = \sum_{i=1}^n a_i b_i^p \quad (13)$$

где:

I_m^a, I_m^p – интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов;

a_i – весовой коэффициент i -го параметра;

b_i^a, b_i^p – балльная оценка i -го параметра для аналога и разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

n – число параметров сравнения.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности приведен в таблице 4.20.

Таблица 4.20 - Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проектов

Критерии	Весовой коэффициент параметра	Разработка Электронно-лучевая сварка, 1	Лазерная сварка, 2	Дуговая микро-сварка, 3
1. Способствует росту производительности труда пользователя	0,1	5	4	3
2. Удобство в эксплуатации (требования потребителей)	0,15	4	3	2
3. Качество сварного шва	0,15	5	4	3
4. Энергосбережение	0,20	4	4	3

Продолжение таблицы 4.20

5. Надежность	0,25	4	4	4
6. Метариалоемкость	0,15	4	4	3
Итого	1,0			

$$1 = 5 * 0,1 + 4 * 0,15 + 5 * 0,15 + 4 * 0,20 + 4 * 0,25 + 4 * 0,15 = 4,25.$$

$$2 = 4 * 0,1 + 3 * 0,15 + 4 * 0,15 + 4 * 0,20 + 4 * 0,25 + 4 * 0,15 = 3,85.$$

$$3 = 3 * 0,1 + 3 * 0,15 + 3 * 0,15 + 3 * 0,20 + 4 * 0,25 + 3 * 0,15 = 3,10.$$

Интегральный показатель эффективности разработки ($I^p_{финр}$) и аналога ($I^a_{финр}$) определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I^p_{финр} = \frac{I^p_m}{I^p_\Phi}, I^a_{финр} = \frac{I^a_m}{I^a_\Phi} \quad (14)$$

Сравнение интегрального показателя эффективности разрабатываемого проекта и аналогов позволит определить сравнительную эффективность проекта. Сравнительная эффективность проекта определяется по формуле:

$$\mathcal{E}_{ср} = \quad (15)$$

где

$\mathcal{E}_{ср}$ – сравнительная эффективность проекта;

$I^p_{финр}$ – интегральный показатель разработки;

$I^a_{финр}$ – интегральный технико-экономический показатель аналога.

Таблица 4.21 - Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Разработка Электронно- лучевая сварка, 1	Лазерная сварка, 2	Дуговая микро- сварка, 3
1	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,25	3,85	3,10
2	Интегральный показатель эффективности разработки 2/1	4,94	4,43	3,44
3	Сравнительная эффективность вариантов исполнения 3 / 2	1,16	1,15	1,11

$$I^p_{финр1} = \frac{4,25}{0,86} = 4,94 ;$$

$$I^p_{финр2} = \frac{3,85}{0,87} = 4,43 ;$$

$$I^p_{\text{финрз}} = \frac{3,10}{0,90} = 3,44;$$

$$\mathcal{E}_{\text{ср1}} = \frac{4,94}{4,25} = 1,16;$$

$$\mathcal{E}_{\text{ср2}} = \frac{4,43}{3,85} = 1,15;$$

$$\mathcal{E}_{\text{ср3}} = \frac{3,44}{3,10} = 1,11;$$

Общий вывод:

1) результатом раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» для реализации проекта на основе анализа конкурентных технических решений была выбрана наиболее эффективная и не дорогая электронно-лучевая сварка теплоизолированной лифтовой трубы ;

2) проведенный SWOT – анализ в целях выявления слабых и сильных сторон электронно-лучевой сварке показал, что ее применение целесообразно за счет развития новых технологий и она экономически эффективна в единичном мелкосерийном производстве;

3) построен план-график проведения проектных работ по электронно-лучевой сварке теплоизолированной лифтовой трубы каждого исполнителя. Общее количество дней на выполнение проектных работ составляет 123 дня;

4) максимальная трудоемкость работ по проекту составляет:
руководитель проекта – 33 чел./дн.; инженера – 84 чел./дн;

5) бюджет затрат проекта технологической разработки электронно-лучевой сварки теплоизолированной лифтовой трубы составил 258907,23 руб.;

6) эффективный вариант решения поставленной в магистерской диссертации технической задачи с позиции финансовой и ресурсной эффективности, это электронно-лучевая сварка, т.к. обеспечивает наименьшие приведенные затраты, эффективность и прибыльность проекта выше, чем другие виды сварки.

На основании проведенных выше расчетов раздела приходим к выводу, что проектные работы по электронно-лучевой сварке теплоизолированной лифтовой трубы экономически целесообразны и будут востребованы в сфере производства.

5 Социальная ответственность

5.1 Введение

Объект исследования является отработка и подбор режимов свариваемости термоизолированной трубы вакуумной электронно-лучевой сваркой.

Все работы производились в офисных и лабораторных помещениях на объекте ООО «НПФ Кубаньнефтемаш». г. Томска. Основная часть работы производится на месте, оборудованном ПЭВМ, поэтому в данном разделе ВКР рассматриваются вопросы анализа и выявления возможных опасных и вредных факторов на рабочем месте инженера. Площадь занимаемого помещения составляет 30 м², на которых располагаются 4 человека.

В данном разделе была задача исследовать вредные и опасные факторы на человека и окружающую среду, разработать мероприятия по предотвращению данных факторов.

При эксплуатации данного способа сварки и предлагаемого процесса на работающих действуют следующие опасные и вредные факторы:

- чрезмерная запыленность и загазованность воздуха в результате конденсации паров расплавленного металла.
- повышенная температура поверхностей оборудования, материалов и воздуха в рабочей зоне (РЗ). Действие лучистого потока теплоты не ограничивается изменениями, происходящими на облучаемом участке тела, на облучение реагирует весь организм. Под влиянием облучения в организме происходят биохимические сдвиги, наступают нарушения деятельности сердечно - сосудистой и нервной систем.
- излишняя яркость при сварке, ультрафиолетовая и инфракрасная радиация;
- влияние шума (см. средства защиты от шума) и вибраций имеет место при работе различного оборудования (вентиляторов, сварочных трансформаторов и др.).

5.2 Производственная безопасность

Работу по подготовки технологии свариваемости можно разделить на несколько этапов. Первый этап - теоретическая подготовка. Этот этап проводится за работой на компьютере и изучении нормативной документации. Вредные и опасные факторы идентифицированные на данном этапе следующие:

- повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание;
- напряженность трудового процесса;
- зрительное напряжение.

При лабораторных исследованиях образцов используется сварка, резка, химическая обработка шлифов. Вредные и опасные факторы которые могут возникнуть на этом этапе:

- поступление в зону дыхания сварочных аэрозолей;
- чрезмерная запыленность и загазованность воздуха;
- повышенная температура поверхностей оборудования, материалов и воздуха в рабочей зоне;
- поражение электрическим током;
- излишняя яркость сварочной дуги, УФ- и ИК-радиация;
- влияние шума;
- поражение и ожоги от химических реактивов.

5.2.1 Вредные факторы

5.2.1.1 Производственный шум

Нормативным эквивалентным уровнем звука на рабочих местах является 80 дБА [1].

Таблица 5.1 - Нормы интенсивности шума для офисных и жилых помещений

Рабочее место	Уровень звука дБ	Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами								
		31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Творческая, научная деятельность, обучение	50	86	71	61	54	49	45	42	40	38
Постоянные рабочие места в производственных помещениях и на территории предприятия	80	107	95	87	82	78	75	73	71	69

Длительное воздействие шума большой интенсивности приводит к патологическому состоянию организма, к его утомлению.

Интенсивный шум вызывает изменения сердечно-сосудистой системы, сопровождаемые нарушением тонуса и ритма сердечных сокращений, изменяется артериальное кровяное давление.

Снизить повышенные уровни шума и вибрации можно:

- в самом источнике путем совершенствования конструкции оборудования и применения малошумных материалов; на путях передачи путем установки шумопоглощающих кожухов, экранов, изоляции наиболее шумного оборудования вентиляторов, компрессоров и т.д.;

К средствам защиты от повышенного уровня шума относятся устройства:

- оградительные; звукоизолирующие, звукопоглощающие; глушители шума; автоматического контроля и сигнализации; дистанционного управления.

средствам защиты от повышенного уровня вибрации относятся устройства:

- оградительные; виброизолирующие, виброгасящие и вибропоглощающие; автоматического контроля и сигнализации; дистанционного управления.

Средства и методы коллективной защиты от шума в зависимости от способа реализации подразделяются на:

1. акустические;
2. архитектурно-планировочные;
3. организационно-технические.

Акустические средства защиты от шума в зависимости от принципа действия подразделяются на:

1. средства звукоизоляции;
2. средства звукопоглощения;
3. средства виброизоляции;
4. средства демпфирования;
5. глушители шума.

Организационно-технические методы защиты от шума включают в себя:

1. применение малошумных технологических процессов (изменение технологии производства, способа обработки и транспортирования материала и др.);
2. оснащение шумных машин средствами дистанционного управления и автоматического контроля;
3. применение малошумных машин, изменение конструктивных элементов машин, их сборочных единиц;
4. совершенствование технологии ремонта и обслуживания машин;
5. использование рациональных режимов труда и отдыха работников на шумных предприятиях.

Средства звукоизоляции в зависимости от конструкции подразделяются на:

1. звукоизолирующие ограждения зданий и помещений;
2. звукоизолирующие кожухи;
3. звукоизолирующие кабины;
4. акустические экраны, выгородки.

Средства звукопоглощения в зависимости от конструкции подразделяются на:

1. звукопоглощающие облицовки;
2. объемные (штучные) поглотители звука.

Распространенные средства индивидуальной защиты от шума – это пробки, наушники, вкладыши (беруши) и шлемы. Принцип действия этих аксессуаров – защита непосредственно органов слуха человека. Максимально герметично закрывая уши, СИЗ служат барьерами от чрезмерно громких звуков, не позволяя разрушать слуховую и нервную системы человека. Такие способы защиты от производственного шума наиболее эффективны на уровне высоких частот.

Самый доступный, дешевый и практичный способ защиты от шумов – использование специальных вкладышей, которые называются берушами (от словосочетания «беречь уши»). Небольшие аксессуары из силикона, поролона или резины просто вставляются в ушной канал человека и не дают проникнуть туда звуковой волне. Беруши легко вставлять и доставать, они принимают индивидуальную форму ушных каналов владельцев и не мешают носить при этом каску, головной убор или очки, но при многократном использовании могут раздражать уши. Вкладыши обеспечивают минимальный уровень защиты, поглощая 10-20 дБ звука, поэтому использовать их целесообразно при незначительном превышении уровня шумов на рабочем месте.

Наиболее эффективный способ защиты от шума – использование специальных наушников. Они полностью закрывают ухо и имеют оголовье, что обеспечивает надежное крепление СИЗ. Также наушники могут быть встроены в головной убор. Шумы блокирует специальная прослойка из звукопоглощающего материала. Такое средство индивидуальной защиты снижает воздействие шумов на 20-30 дБ. Наушники легки, комфортны в использовании, особенно при высоких частотах. Для удобства хранения некоторые производители делают наушники складными.

Защита ушей от шума может также обеспечиваться с помощью специальных шлемов и касок, которые используются уже при более высоком уровне громких звуков. Применяются они вместе с наушниками или берушами, обеспечивая в сумме снижение акустической нагрузки на 30-50 дБ. Использовать шлемы рекомендуется при звуках с громкостью выше уровня 120 дБ. Только это средство индивидуальной защиты способно защитить органы слуха человека при таких частотах.

Предельно допустимый уровень (ПДУ) шума – это уровень фактора, который при ежедневной (кроме выходных дней) работе, но не более 40 часов в неделю в течение всего рабочего стажа, не должен вызывать заболеваний или отклонений в состоянии здоровья, обнаруживаемых современными методами исследований в процессе работы или в отдаленные сроки жизни настоящего и последующих поколений. Соблюдение ПДУ шума не исключает нарушения здоровья у сверхчувствительных лиц. Слуховое восприятие человека изображено на рис.1.

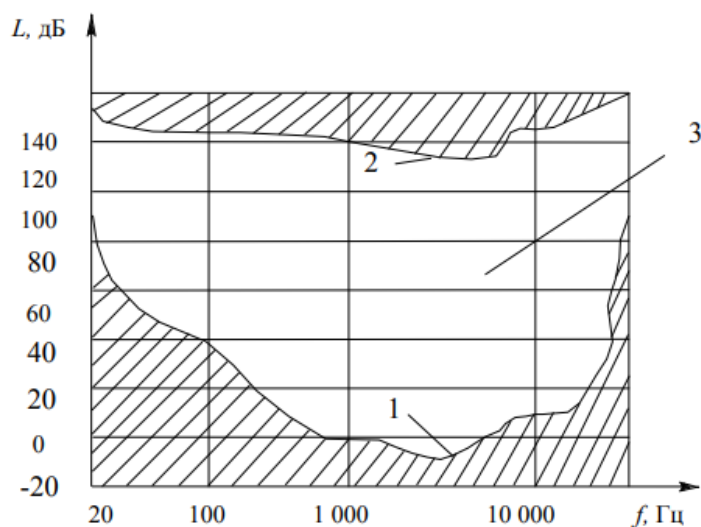


Рисунок 1 – Слуховое восприятие человека:
 1 – порог слышимости; 2 – порог болевого ощущения;
 3 – область слухового восприятия человека

5.2.1.2 Ультрафиолетовое излучение (УФИ)

Горение сварочной дуги сопровождается излучением ослепительно ярких световых лучей и невидимых глазом УФ и ИК лучей. Спектр излучения включает участок ИК волн (3430-760 нм), видимый участок (760-400 нм) и УФ участок (400-180 нм).

Видимые световые лучи ослепляют, так как яркость их превышает физиологически переносимую дозу. Короткие ультрафиолетовые лучи даже при кратковременном воздействии могут вызвать электроофтальмию. Инфракрасные лучи обладают главным образом тепловым эффектом, их интенсивность зависит от мощности дуги. При современных способах сварки тепловая радиация на рабочем

месте может составлять $0,5-6 \text{ кал/см}^2 \cdot \text{мин}$. Источниками тепловой радиация являются дуга и в меньшей степени нагретый металл.

Для защиты от ультрафиолетового излучения применяются коллективные и индивидуальные способы и средства: экранирование источников излучения и рабочих мест; удаление обслуживающего персонала от источников ультрафиолетового излучения (защита расстоянием — дистанционное управление); рациональное размещение рабочих мест; специальная окраска помещений; СИЗ и предохранительные средства (пасты и мази).

Для экранирования рабочих мест применяют ширмы, щитки, или специальные кабины. Стены и ширмы окрашивают в светлые тона (серый, желтый, голубой), применяют цинковые и титановые белила для поглощения ультрафиолетового излучения.

К СИЗ от ультрафиолетовых излучений относятся: термозащитная спецодежда; рукавицы; спецобувь; защитные каски; защитные очки и щитки со светофильтрами.

Для защиты от излучения используются сварочные маски и щитки конструкция масок должна соответствовать ГОСТ 12.4.035-78 и ТУ 3441-003-07515055-97 [3]. Светофильтры для помещений принимаются марки С4.

Предельно допустимые уровни облучения (по ОСТ 54 30013-83 [14]):

- а) до 10 мкВт/см^2 , время работы до 8 часов;
- б) от 10 до 100 мкВт/см^2 , время работы не более 2 часов;
- в) от 100 до 1000 мкВт/см^2 , время работы не более 20 мин. при условии пользования защитными очками;
- г) для населения в целом ППМ не должен превышать 1 мкВт/см^2 .

5.2.1.3 Освещенность рабочей зоны

Рациональное освещение имеет большое значение для высокопроизводительной и безопасной работы. Нормирование значений освещенности рабочей поверхности при сварочных работах помещения составляет 200 лк (СП 52.13330.2016).

Различают естественное и искусственное освещение.

Естественное – обуславливают световым потоком прямых солнечных лучей и диффузионным световым потоком прямых солнечных лучей, и диффузионным светом неба, т.е. многократным отражением солнечных лучей от мельчайших взвешенных в атмосфере частиц пыли и воды.

В зависимости от напряжения зрительного аппарата при выполнении работы освещенность на предприятиях делят на восемь разрядов - от наивысшей точности до общего наблюдения за ходом производственного процесса.

Таблица 5.2 – нормируемые значения КЕО (СП 52.13330.2016)

Характеристика выполняемой зрительной работы	Наименьший размер объекта различения, мм	Разряд зрительной работы	Значение КЕО в при совместном освещении, %	
			верхнем и комбинированном	боковом
Наивысшей точности	Менее 0,15	I	6	2
Очень высокой точности	0,15 ... 0,30	II	4,2	1,5
Высокой точности	0,3 ... 0,5	III	3	1,2
Средней точности	от 0,5 до 1,0	IV	2,4	0,9
Малой точности	от 1 до 5	V	1,8	0,6
«Грубая работа»	Более 5	VI	1,8	0,6
Работа с самосветящимися материалами и изделиями в горячих цехах	Более 0,5	VII	1,8	0,6
Общие наблюдения за ходом производственного процесса:	-	VIIIa	1,8	0,6
периодическое при постоянном пребывании людей в помещении	-	VIIIб	0,7	0,2
периодическое при периодическом пребывании людей в помещении	-	VIIIв	0,5	0,2

Продолжение таблицы 5.2

Общее наблюдение за инженерными коммуникациями	-	VIIIг	0,2	0,1
--	---	-------	-----	-----

Согласно СП 52.13330.2016 значение коэффициента естественной освещенности (КЕО) в производственных цехах с комбинированным освещением для общего наблюдения за ходом производственного процесса составляет 0,2.

Искусственное освещение осуществляется светильниками общего и местного освещения. Светильник состоит из источника искусственного освещения (лампы) и осветительной арматуры. Основными источниками искусственного освещения являются лампы накаливания и люминесцентные лампы.

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

Для производственных помещений, а также научно-технических лабораторий коэффициент пульсаций освещенности ($K_{п}$) должен быть не больше 10%.

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

Расчёт общего равномерного искусственного освещения горизонтальной рабочей поверхности выполняется методом коэффициента светового потока, учитывающим световой поток, отражённый от потолка и стен. Длина помещения $A = 6$ м, ширина $B = 6$ м, высота = 3,5 м. Высота рабочей поверхности над полом $h_p =$

0,75 м. Согласно СП 52.13330.2016 необходимо создать освещенность не ниже 150 лк, в соответствии с разрядом зрительной работы.

Площадь помещения:

$$S = A \times B, \quad (24)$$

где A – длина, м,
 B – ширина, м., $S = 6 \times 6$
 $= 36 \text{ м}^2$.

Коэффициент отражения свежепобеленных стен с окнами, без штор $\rho_c = 50\%$, свежепобеленного потолка $\rho_{п} = 70\%$. Коэффициент запаса, учитывающий загрязнение светильника, для помещений с малым выделением пыли равен $K_z = 1,5$. Коэффициент неравномерности для люминесцентных ламп $Z = 1,1$.

Выбираем лампу дневного света ЛД-40, световой поток которой равен $\Phi_{ЛД} = 2600 \text{ Лм}$.

Выбираем светильники с люминесцентными лампами типа ОДОР-2-40. Этот светильник имеет две лампы мощностью 40 Вт каждая, длина светильника равна 1227 мм, ширина – 265 мм.

Интегральным критерием оптимальности расположения светильников является величина λ , которая для люминесцентных светильников с защитной решёткой лежит в диапазоне 1,1–1,3. Принимаем $\lambda = 1,1$, расстояние светильников от перекрытия (свес) $h_c = 0,3 \text{ м}$.

Высота светильника над рабочей поверхностью определяется по формуле:

$$h = h_n - h_p, \quad (25)$$

где h_n – высота светильника над полом, высота подвеса,

h_p – высота рабочей поверхности над полом.

Наименьшая допустимая высота подвеса над полом для двухламповых светильников ОДОР $h_n = 3,5 \text{ м}$.

Высота светильника над рабочей поверхностью определяется по формуле:

$$h = H - h_p - h_c = 3,5 \text{ м} - 0,75 \text{ м} - 0,3 \text{ м} = 2,45 \text{ м} \quad (26)$$

Расстояние между соседними светильниками или рядами определяется по

формуле:

$$L = \lambda \cdot h = 1,1 \cdot 2,75 \text{ м} = 3 \text{ м}, \quad (27)$$

Число рядов светильников в помещении:

$$Nb = B/L = 6 \text{ м} / 3 \text{ м} = 2, \quad (28)$$

Число светильников в ряду:

$$Na = A/L = 6 \text{ м} / 3 \text{ м} = 2, \quad (29)$$

Общее число ламп:

$$N = 2 \cdot Na \cdot Nb = 2 \cdot 2 \cdot 2 = 8, \quad (30)$$

Расстояние от крайних светильников или рядов до стены определяется из уравнения:

$$L = Na \cdot L_1 + \frac{2}{3} \cdot L_1 + N \cdot L_{lam}, \quad (31)$$

$$L_1 = \frac{L - Na \cdot L_{lam}}{N + \frac{2}{3}} - \text{расстояние между светильниками,}$$

где L – длина периметра,

Na – число светильников в ряду,

L_{lam} – длина светильника вдоль периметра,

N – число расстояний между светильниками.

$$L_1 = \frac{6000 - 2 \cdot 265}{1 + 2/3} = 3300 \text{ мм},$$

$$L_2 = \frac{6000 - 2 \cdot 1227}{1 + 2/3} = 2130 \text{ мм}.$$

Размещаем светильники в два ряда. На рисунке 5.2 изображен план помещения и размещения светильников с люминесцентными лампами.

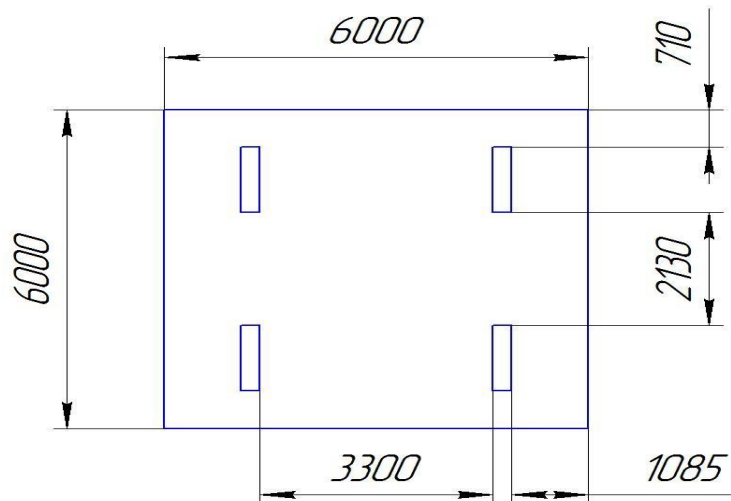


Рисунок 5.2 План помещения и размещения светильников с люминесцентными лампами

Индекс помещения определяется по формуле:

$$i = A \cdot B / [h \cdot (A + B)] = 6\text{ м} \cdot 6\text{ м} / [2,75\text{ м} \cdot (6\text{ м} + 6\text{ м})] = 1,09, \quad (32)$$

Коэффициент использования светового потока, показывающий какая часть светового потока ламп попадает на рабочую поверхность, для светильников типа ОДОР с люминесцентными лампами при $\rho_{\text{П}} = 70\%$, $\rho_{\text{С}} = 50\%$ и индексе помещения $i = 1,6$ равен $\eta = 0,46$.

Потребный световой поток группы люминесцентных ламп светильника определяется по формуле:

$$\Phi_{\text{П}} = E \cdot A \cdot B \cdot K_3 \cdot Z / N \cdot \eta = 150 \cdot 6 \cdot 6 \cdot 1,5 \cdot 1,1 / 8 \cdot 0,46 = 2421 \text{ лм}, \quad (33)$$

Делаем проверку выполнения условия:

$$-10\% \leq \frac{\Phi_{\text{лд}} - \Phi_{\text{н}}}{\Phi_{\text{лд}}} \cdot 100\% \leq 20\%,$$

$$\frac{\Phi_{\text{лд}} - \Phi_{\text{н}}}{\Phi_{\text{лд}}} \cdot 100\% = \frac{2600 - 2421}{2600} \cdot 100\% = 11\%.$$

Таким образом: $-10\% \leq 11\% \leq 20\%$, необходимый световой поток светильника не выходит за пределы требуемого диапазона.

5.2.1.3 Запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны

В процессе проведения сварочных работ выделяются разнообразные примеси, основными из которых являются твердые частицы и газы. Основными компонентами пыли при сварке оказываются окислы железа, марганца, хрома, кремния, фтористые и другие соединения. Наиболее вредными веществами, которые входят в состав покрытия и металла проволоки является хром, марганец и фтористые соединения. Воздух в рабочей зоне сварщика также загрязняется вредными газами окиси углерода.

Удаление вредных газов и пыли из зоны сварки, а также подача чистого воздуха осуществляется вентиляцией. Значения ПДК вредных веществ в воздухе рабочей зоны приведены в таблице 5.3 согласно ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ. Общие санитарно - гигиенические требования к воздуху рабочей зоны [4].

Таблица 5.3 – Классы опасностей вредных веществ, выделяющихся при сварке сталей

Вещество	ПДК, мг/м ³	Класс опасности	Состояние	Действие на организм человека
Марганец	0,05	1	аэрозоли	Утомляемость, сонливость, ухудшение памяти
Хром	0,1	1	аэрозоли	Повышение риска образования рака, заболевания астмой
Фтористые соединения	0,5	2	аэрозоли	Раздражение глаз, кожи, бронхов, воздействие на печень и щитовидную железу
Окись углерода	20	4	пары или газы	Головные боли, одышка, аритмия, слабость

Очистка воздуха от пыли (аэрозолей) осуществляется с помощью специального оборудования различных конструкций в зависимости от размеров частиц пыли: грубая очистка (10 ... 50 мкм), среднее (более 1 мкм) и тонкие

(менее 1 мкм). Для этого применяются циклоны и пылесадительные камеры, принцип действия которых основан на использовании сил тяжести и инерции; волокнистые (тканевые) и рукавные, изготовлены из натуральных материалов (хлопок, лен, шерсть) и синтетических (полиамидные, полипропиленовые и другие волокна); ротационные пыле образователями (в виде радиальных вентиляторов); электрофильтры, улавливающие аэрозоли за счет подзарядки их частиц в электрическом поле и дальнейшем осаждения.

Для улавливания сварочных аэрозолей в системах вентиляции и фильтровентиляционных агрегатах применяются электростатические, тканевые, бумажные и комбинированные фильтры [4].

5.2.2 Опасные факторы

5.2.2.1 Защита от поражения электрическим током

Основной защитой человека от поражения электрическим током является заземление. Благодаря использованию различных заземляющих приспособлений удается избежать жертв на производстве.

Согласно Правилам устройства электроустановок (ПУЭ-7), все производственные помещения по опасности поражения электрическим током разделяются на три категории:

1. Без повышенной опасности. Отсутствие всех перечисленных ниже факторов.
2. С повышенной опасностью. К факторам, повышающим опасность поражения электрическим током, относятся:
 - а) повышенная влажность воздуха ($\varphi \geq 75\%$);
 - б) повышенная температура воздуха ($t \geq 35^\circ\text{C}$);
 - в) возможность одновременного касания электрооборудования и предметов, имеющих связь с землей;
 - г) электропроводная пыль (среда).
3. Особо опасные:
 - а) влажность воздуха $\varphi = 100\%$ при открытых электроустановках;

б) разрушающая изоляцию среда;

в) одновременно два или более признака из категории 2.

Безопасные номиналы: $I < 0,1A$, $U < (12-36)V$, $R_{\text{заземл.}} < 40\Omega$.

Рассматриваемое производственное помещение относится ко второй категории (повышенной опасности), ввиду влажности воздуха более 75% из-за расположения цеха непосредственно возле моря. Сварочная установка работает под напряжением 380 вольт трехфазного переменного тока. В соответствии с требованиями «Правил устройства электроустановок» она должна быть заземлена.

В зависимости от расположения заземлителей по отношению к заземляемому оборудованию заземления бывают выносные (сосредоточенные) и контурные. Заземлители выносных заземлений располагают сосредоточенно на расстоянии свыше 20 м от заземляемого оборудования, т. е. вне зоны растекания тока замыкания на землю. Заземлители контурного заземления располагают по периметру и внутри площадки, на которой установлено заземляемое оборудование. Все эти заземлители электрически соединены друг с другом.

Заземлители могут быть естественными и искусственными. Искусственные заземлители выполняются в виде электродов. По расположению в грунте и по форме электродов заземлители делятся на:

– углубленные, состоящие из полос или круглой стали, укладываемых глубоко на дно котлована горизонтально по периметру фундаментов;

– вертикальные, состоящие из электродов, верхний конец которых заглубляется на 0,5 - 0,7 м от поверхности земли; в качестве их используют стальные вертикальные заложённые стержни диаметром 10 - 16 мм, (или отрезки стальных труб, различного диаметра), длиной 3-5 м, а также уголковая сталь длиной 2,5 - 3 м;

– горизонтальные (протяженные), состоящие из электродов, применяемых для связи между собой вертикальных заземлителей, соединяемых сваркой. В качестве таких заземлений используется круглая сталь диаметром не менее 10 мм или стальные полосы толщиной не менее 4 мм, сечением 48 мм².

В качестве заземляющих проводников-ответвлений к оборудованию, где по условиям работы не требуются гибкие проводники, применяются медные или

алюминиевые проводники. В качестве заземляющих проводников, образующих заземляющую магистраль, применяется полосовая или круглая сталь, сечением порядка 48 мм².

Заземляющий проводник присоединяется к заземлению сваркой внахлестку не менее чем в двух местах. Длина нахлестки должна быть равна двойной ширине проводника при прямоугольном сечении или круглом шести диаметрам. Болты (винты, шпильки) для крепления заземляющего проводника должны изготавливаться из стойкого в отношении коррозии металла. Диаметр болта (винта, шпильки), зависит от номинального тока потребителя: при токе потребителя до 16 А, диаметр болта 4 мм потребителя 250-300 А диаметр болта 10 мм. Нельзя применять для выполнения заземления крепежные детали машин, оборудования.

Основными причинами поражения электрическим током могут послужить следующие факторы: прикосновение к токоведущим частям или прикосновение к конструктивным частям, оказавшимся под напряжением. С целью исключения опасности поражения электрическим током необходимо соблюдать следующие правила электрической безопасности:

- перед включением установки должна быть визуально проверена ее электропроводка на отсутствие возможных видимых нарушений изоляции, а также на отсутствие замыкания токопроводящих частей держателей электродов;
- при появлении признаков замыкания необходимо немедленно отключить от электрической сети установку.

Средства коллективной защиты:

- Защитное заземление, зануление;
- Малое напряжение;
- Электрическое разделение сетей;
- Защитное отключение;
- Изоляция токоведущих частей;
- Оградительные устройства;
- Предупредительная сигнализация;
- Изолирующие защитные и предохранительные приспособления;
- Снизить время пребывания в опасной зоне;

– Плакаты и знаки безопасности.

Изолирующие средства индивидуальной защиты разделяются на:

1. Основные. Они могут выдержать долговременное воздействие напряжения, поэтому их целесообразно применять при производстве электромонтажных работ без обесточивания устройств от сети. Средства индивидуальной защиты, относящиеся к основным, включают в себя:

- указатели напряжения;
- изолирующие штанги;
- изолированный инструмент;
- электроизмерительные клещи;
- диэлектрические перчатки;
- переносные заземления;
- изолирующие устройства.

2. Дополнительные. Такая защита не способна полностью обеспечить защиту человека от воздействия электрического тока, в связи с чем такие средства используются совместно с основными. К таким средствам защиты относятся:

- диэлектрические сапоги или галоши;
- изолирующие накладки и подставки; - коврики диэлектрические;
- диэлектрические колпаки;
- сигнализаторы напряжения.

5.2.2.3 Пожарная опасность

По взрывопожарной и пожарной опасности помещения подразделяются на категории А, Б, В1-В4, Г и Д, а здания на категории А, Б, В, Г и Д.

Согласно НПБ 105-03 лаборатория относится к категории В – горючие и трудно горючие жидкости, твердые горючие и трудно горючие вещества и материалы, вещества и материалы, способные при взаимодействии с водой, кислородом воздуха или друг с другом только гореть, при условии, что помещения, в которых находится, не относятся к категории наиболее опасных А или Б.

По степени огнестойкости данное помещение относится к 1-й степени огнестойкости по СП 12.13130.2009 [8] (выполнено из кирпича, которое относится к трудносгораемым материалам).

Возникновение пожара при работе с электронной аппаратурой может быть по причинам как электрического, так и неэлектрического характера.

Причины возникновения пожара неэлектрического характера:

а) халатное неосторожное обращение с огнем (курение, оставленные без присмотра нагревательные приборы, использование открытого огня);

Причины возникновения пожара электрического характера: короткое замыкание, перегрузки по току, искрение и электрические дуги, статическое электричество и т. п.

Для локализации или ликвидации загорания на начальной стадии используются первичные средства пожаротушения. Первичные средства пожаротушения обычно применяют до прибытия пожарной команды.

Огнетушители водо-пенные (ОХВП-10) используют для тушения очагов пожара без наличия электроэнергии. Углекислотные (ОУ-2) и порошковые огнетушители предназначены для тушения электроустановок, находящихся под напряжением до 1000В. Для тушения токоведущих частей и электроустановок применяется переносной порошковый огнетушитель, например, ОП-5.

В общественных зданиях и сооружениях на каждом этаже должно размещаться не менее двух переносных огнетушителей. Огнетушители следует располагать на видных местах вблизи от выходов из помещений на высоте не более 1,35 м. Размещение первичных средств пожаротушения в коридорах, переходах не должно препятствовать безопасной эвакуации людей.

Для предупреждения пожара и взрыва необходимо предусмотреть:

1. специальные изолированные помещения для хранения и разлива легковоспламеняющихся жидкостей (ЛВЖ), оборудованные приточно-вытяжной вентиляцией во взрывобезопасном исполнении - соответствии с ГОСТ 12.4.021-75 [19] и СП 60.13330.2012 [10];

2. специальные помещения (для хранения в таре пылеобразной канифоли), изолированные от нагревательных приборов и нагретых частей оборудования;

3. первичные средства пожаротушения на производственных участках (передвижные углекислые огнетушители ГОСТ Р 51057-2001 [9], пенные огнетушители ГОСТ Р 51057-2001, ящики с песком, войлок, кошма или асбестовое полотно);

4. автоматические сигнализаторы (типа СВК-3 М 1) для сигнализации о присутствии в воздухе помещений дозрывных концентраций горючих паров растворителей и их смесей.

Лаборатория, в которой проводились исследования, расположенная в 16А корпусе Томского политехнического университета, полностью соответствует требованиям пожарной безопасности (наличие охранно-пожарной сигнализации, плана эвакуации, изображенного на рисунке 5.3, порошковых огнетушителей, находящихся в каждом кабинете лаборатории на первом этаже, в кабинке у охранника и в конце коридора на втором этаже с поверенным клеймом, рисунок с указанием направления к запасному (эвакуационному) выходу).

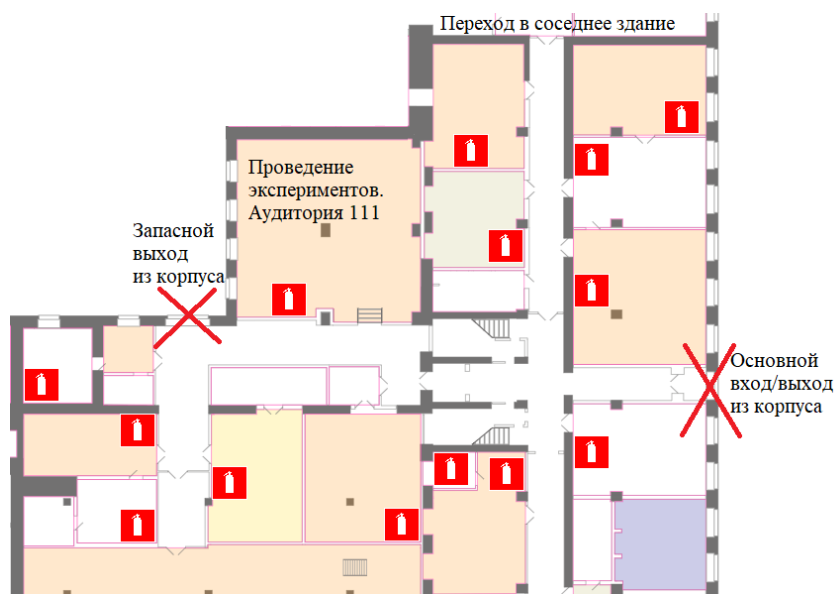


Рисунок 23 – План эвакуации

5.3 Экологическая безопасность

Охрана окружающей среды - это комплексная проблема и наиболее активная форма её решения - это сокращение вредных выбросов промышленных предприятий через полный переход к безотходным или малоотходным технологиям производства.

Для перехода к безотходным производствам в ремонтном цеху необходимо осуществлять сбор (установить контейнеры с обозначенным назначением), сортировку и прессовку металлолома, огарков с последующей транспортировкой в перерабатывающие предприятия. Также с помощью промышленных пылесборников собрать пыль, и упаковать её и транспортировать на ближайший строительный объект.

Вышедшие из работы лампы, подлежащие переработке, необходимо собирать в коробки (до установленного объема) для транспортировки на перерабатывающее предприятие.

Так же необходимо позаботиться о отдельных контейнерах для отходов бытового характера: отдельные мусорные баки для бумаги, стекла, металлических частей, пластика. Необходимо заключить договор с компанией, вывозящей мусор, чтобы она обеспечивала доставку разделенных отходов фирмам, занимающимся переработкой отходов.

5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Чрезвычайная ситуация – это обстановка на определенной территории, сложившаяся в результате аварии, опасного природного явления, катастрофы, распространения заболевания, представляющего опасность для окружающих, стихийного или иного бедствия, которые могут повлечь или повлекли за собой человеческие жертвы, ущерб здоровью людей или окружающей среде, значительные материальные потери и нарушение условий жизнедеятельности людей. В данной работе невозможно охватить весь спектр возможных ЧС, основное внимание уделено двум вариантам ЧС:

- 1) природная – сильные морозы зимой.

Сильные морозы могут нанести вред как и сотрудникам, работающим на предприятии, так и самому предприятию.

В случае разрыва теплотрассы должен быть приобретен и поставлен на склад газовый калорифер с катализаторным сжиганием, в случае замерзания водовода на складе должна иметься бутилированная вода, питьевая так же техническая вода, в случае если общественный транспорт перестал ходить должен иметься транспорт предприятия который доставит сотрудников от дома до места работы и обратно.

В случае сотрудников предприятие должно предпринять меры направленные на снижение вероятности получения сотрудниками травм в 109 результате переохлаждения – сократить количество работающих сотрудников (не привлекать сотрудников к работе в период сильных холодов без острой необходимости), обеспечить сотрудников транспортом и держать в готовности средства первой помощи, применяемые при переохлаждении.

В случае предприятия – уделить особое внимание состоянию тепловых и водоносных линий коммуникации во избежание их промерзания, также предусмотреть возможность резервного отопления (электрокотельная или тепловые пушки) при отказе основной магистрали для недопущения разморозки здания.

- 2) техногенная – несанкционированное проникновение посторонних на рабочее место.

Для недопущения несанкционированного проникновения на рабочее место на предприятии применяется система контроля и управления доступом, каждый сотрудник имеет ключ-карту для прохода через пропускной пункт. На лицевой стороне карты размещается фотография и ФИО сотрудника, на задней стороне ключ-карты – номер пропуска.

Пропускные пункты расположены на входе и внутри предприятия, контроль осуществляется, в том числе визуальное соответствие фотографии, для попадания в искомое помещение нужно преодолеть не менее 2-х пропускных пунктов, что практически исключает несанкционированный доступ.

Перечень НТД

В данной работе использованы ссылки на следующие стандарты:

1. СН 2.2.4/2.1.8.562–96 «Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки. Санитарные нормы»
2. ГОСТ 12.1.029-80 ССБТ «Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Средства и методы защиты от шума. Классификация»
3. ГОСТ 12.4.035-78. Система стандартов безопасности труда. Щитки защитные лицевые для электросварщиков.
4. ГОСТ 12.1.005-88 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны (с Изменением N1).
5. ГОСТ 12.1.004-91 «Пожарная безопасность. Общие требования»
6. ГОСТ 12.1.010-76 «Взрывобезопасность. Общие требования»
7. СП 52.13330.2016 «Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95*»
8. СП 12.13130.2009 «Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности»
9. ГОСТ Р 51057-2001 «Огнетушители переносные»
10. СП 60.13330.2012 «Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха»

Заключение

В результате исследования установлено, что наиболее оптимальным током луча при ЭЛС, обеспечивающим полное проплавление сварного соединения труба - пробка, является ток ~40 мА. В сварном шве формируется мартенсит, приводящий к значительному повышению микротвердости в корне шва (3200 ± 200 МПа).

Отработана технология электронно-лучевой сварки трубы с пробкой, помещенной в откачное отверстие в одном технологическом режиме откачка вакуума – сварка с последующей приваркой крышечки для дополнительной защиты пробки и отпуска ранее сформированного ЭЛС неразъемного соединения.

Результатом раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» для реализации проекта на основе анализа конкурентных технических решений была выбрана наиболее эффективная и не дорогая электронно-лучевая сварка теплоизолированной лифтовой трубы.

Проведенный SWOT – анализ в целях выявления слабых и сильных сторон электронно-лучевой сварки показал, что ее применение целесообразно за счет развития новых технологий и она экономически эффективна в единичном мелкосерийном производстве.

Построен план-график проведения проектных работ по электронно-лучевой сварке теплоизолированной лифтовой трубы с пробкой каждого исполнителя. Общее количество дней на выполнение проектных работ составляет 123 дня.

Максимальная трудоемкость работ по проекту составляет:
руководитель проекта – 33 чел/дн; инженера – 84 чел/дн.

Бюджет затрат проекта технологической разработки электронно-лучевой сварки теплоизолированной лифтовой трубы составил 258907,23 руб.

Эффективный вариант решения поставленной в магистерской диссертации технической задачи с позиции финансовой и ресурсной эффективности, это электронно-лучевая сварка, тк обеспечивает наименьшие

приведенные затраты, эффективность и прибыльность проекта выше, чем другие виды сварки.

На основании проведенных выше расчетов раздела приходим к выводу, что проектные работы по электронно-лучевой сварке теплоизолированной лифтовой трубы экономически целесообразны и будут востребованы в сфере производства.

ЭЛС, в сравнении с другими видами сварки, имеет ряд существенных преимуществ: весь процесс происходит в камере – исключено попадание брызг металла на спецодежду, кожу, отсутствует прямое воздействие аэрозолей и паров на органы дыхания, глаза защищены от светового излучения сварочной ванны (за процессом сварки можно наблюдать через смотровое окно камеры и по монитору компьютера), чистота в помещении (все продукты горения оседают на стенках камеры) Рассматривая данный способ с точки зрения безопасности жизнедеятельности, можно отметить его как наиболее безопасный, ввиду наименьшего воздействия на организм человека вредных производственных факторов.

Список использованных источников

1. Серегина Н. В. СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ ТЕПЛОИЗОЛИРОВАННЫХ ЛИФТОВЫХ ТРУБ ДЛЯ ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ ГАЗОВЫХ СКВАЖИН В МНОГОЛЕТНЕМЕРЗЛЫХ ПОРОДАХ, 2017, 4с.
2. Овчинников Д. В., М. Н. Лефлер, А. И. Пугин Освоение технологии производства труб лифтовых теплоизолированных (ТЛТ) в ОАО «СинТЗ» // Инновационные технологии в металлургии и машиностроении: материалы 6-й международной молодежной научно-практической конференции «Инновационные технологии в металлургии и машиностроении. Уральская научно-педагогическая школа имени профессора А. Ф. Головина», [г. Екатеринбург, 29 октября - 1 ноября 2012 г.]. — Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2012. — С. 449-451.
3. Кудинов В.И., Савельев В.А., Головина Т.И. Экономическая эффективность внедрения тепловых методов повышения нефтеотдачи на месторождениях ОАО «Удмуртнефть» // Геология нефти и газа. 1998. № 5. С. 2–11.
4. Храмов Ю.А. Физики: Биографический справочник. М.: Наука, 1983. 400 с.
5. Пат. 2221184 РФ, F16L9/14, F16L59/14. Теплоизолированная труба / И.Ф. Калачев, Р.Н. Рахманов, Р.М. Шаммасов (РФ). – № 2002126844/06; Заявлено 07.10.2002; Оpubл. 10.01.2004, Бюл. №1.
6. Пат. 2197594 РФ, E21B17/01, E21B43/00, F16L59/14. Термоизолированная колонна / Н.Д. Цхадая, В.Н. Волков, А.А. Пранович и др. (РФ). – № 2000101452/03; Заявлено 17.01.2000; Оpubл. 27.01.2003, Бюл. №3.
7. Осокин А.Б., Смоллов Г.К., Витченко А.С., Васильева А.О. Обеспечение устойчивости добывающих скважин в особо сложных геокриологических условиях Бованенковского нефтегазоконденсатного месторождения: отчет ООО «Газпром добыча Надым». Надым, 2016.
8. Патент РФ №2473005, E21B17/00, F16L59/065. Труба термоизолированная насосно-компрессорная (ТТНК). / С.А. Шакаров (РФ). – Оpubл. 20.01.2013, Бюл. №2.

9. Технологии и оборудование ЭЛС – 2008 // Материалы Первой Санкт-Петербургской международной научно-технической конференции 19–22 мая 2008 года.

10. Николин И.В. Методы разработки тяжелых нефтей и природных битумов // Наука – фундамент решения технологических проблем развития России. 2007. № 2. С. 31–34.

11. Артеменков В.Ю., Ерехинский Б.А., Заряев И.А. Применение теплоизолированных лифтовых труб в нефтегазодобывающей промышленности // Территория «НЕФТЕГАЗ». 2017. № 3. С. 40–44.

12. Волков В.А., Вонский Е.В., Кузнецова Г.И. Выдающиеся химики мира. М: Высшая школа, 1991. 656 с.

13. Храмов Ю.А. Физики: Биографический справочник. М.: Наука, 1983. 400 с.

14. Пат. 2221184 РФ, F16L9/14, F16L59/14. Теплоизолированная труба / И.Ф. Калачев, Р.Н. Рахманов, Р.М. Шаммасов (РФ). – № 2002126844/06; Заявлено 07.10.2002; Оpubл. 10.01.2004, Бюл. №1.

15. Туричин Г.А., Валдайцева Е.А., Климова О.Г., Хассель Т., Беньяш А., Мюррэй Н., Майер Х.Ю. Механизмы влияния динамических процессов при высокоскоростной лазерной, лазерно-дуговой и электронно-лучевой сварке на формирование дефектов сварных швов // Сварка и диагностика. 2015. № 3. С. 23-27.

16. Арутюнов Ю.А., Финансовый менеджмент: теория и практика М.: Проспект 2008. – 1024 с.

17. Бланк И.А. Управление финансовой безопасностью предприятия. – Киев: Эльга; Ника-Центр, 2006. – 776 с.

18. Большаков С.В., Финансы предприятий: теория и практика учебник для вузов. – М.: Кн. Мир 2006. – 617 с.

Приложение А
(справочное)

Раздел (1)

The application of vacuum insulated tubing (VIT) in the oil and gas industry.

Студент:

Группа.	ФИО	Подпись	Дата.
1ВМ91	Сорокин Иван Андреевич		06052021

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание.	Подпись	Дата.
Профессор	Гнюсов СФ.	д.т.н, профессор		06052021

Консультант – лингвист отделения электронной инженерии ИШНКБ:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание.	Подпись	Дата.
к.п.н.	Федоринова ЗВ.	к.п.н, доцент.		06052021

Introduction

The research is vital because the operation of cased holes in severe permafrost conditions is often accompanied by thawing and destruction of frozen rocks in the near-borehole section of case hole, collapses of footing at the well mouth, casing column crashing and X-mas tree curving, the occurrence of annulus and shell-side gas showing, the formation of hydrated-gas plugs etc All this leads to an increase in operating expenses for cased holes maintenance The issues of ensuring thermal insulation of casing column and oilwell tubing for effective and reliable wellsite operation in the fields located in the areas of perennially frozen rocks are topical.

The aim of the present work is to study the structure of the weldment and heat affected zone (HAZ) of a lagged supporting pipe with an inner tube (casing pipe) obtained by electron-beam welding in vacuum

The objectives of the present work are:

- 1) Conduct electron-beam welding of lagged supporting pipe with an inner tube (casing pipe).
- 2) Cut out samples of welded joints, prepare polished specimens, select an etchant to identify the structure and analyze the microstructure of welded joints.
- 3) Measure micro-hardness according to all-Union State Standard 9450-76 “Measurement of micro-hardness by indentation of diamond indenter” on the «ИИМТ-3» device for welded joints.
- 4) Make an analysis of the results.

The research object electron-beam welding in vacuum

The research methods represent a piping structural in the form of a pipe-in-pipe (PIP), where the internal pipeline is the main one and in the space between it and the casing (thermally insulated space) thermal insulation is placed and a vacuum is created.

The practical value of the work lies in the study of the weldment and heat affected zone (HAZ) structure of a lagged supporting pipe with an inner tube (casing pipe) obtained by electron-beam welding in vacuum.

Structure and volume of the work

The work includes 119 pages (without an appendix) and consists of an introduction, 7 main sections, a conclusion, references and an appendix. Each block consists of several logically interrelated chapters, followed by a conclusion in which the results of our work in relation to this block are listed. Our links consist of 49 sources presented by Russian and foreign authors.

Main body.

1 Literature review.

1.1 Insulated lift pipe (ILP)

Insulated lift pipes (ILP) are intended for an oil-and-gas field facilities construction located in the most difficult conditions of oil and gas extraction in a permafrost region and characterized by high viscosity (HV) or wax deposition of recovered linear gelled oil

ILP are used:

- For preventing well thawing in cryolithic zone;
- For preventing gas hydrate-bearing and asphaltene deposits;
- For injection of high temperature fluid into a shelf in order to heat HV oil during the operation process of thermal-cycle method for hydrocarbon output (including such as CSS and SAGD)

Build implies installation of foil-type shield and basalt fibre fabric (containing getters) in the annulus where is a vacuum appeared A fluoroplastic heat-insulating material is installed inside the coupling In the ILP build, intended for operation at high temperatures, the inner tube is «pre-tensioned».

The use of vacuum for heat conservation began at the end of the 19th century Thereat heat conservation was required not to maintain temperature of the fluid, but, by contrast, to prevent heating of liquefied gas with a negative temperature The first experiments with a vacuum used as a heat-insulator were carried out by the Scottish physicist James Dewar, who became well-known for

his work on the gas liquefaction and sub-zero research of gases, during which he created a vessel later named after him – Dewar cryogenic storage. It had narrow flask neck and double flask walls between which air was pumped out and both inner surfaces of the glass walls were silver plated to reduce heat gain. Dewar didn't see commercial values for his invention and therefore didn't patent it [1].

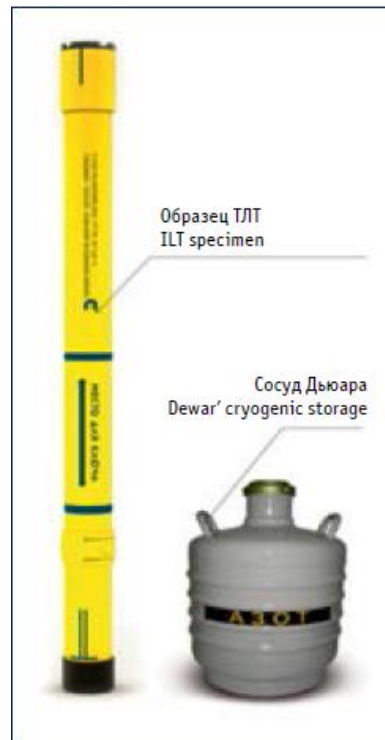


Рис. 1. Внешний вид теплоизолированной лифтовой трубы и сосуда Дьюара
Fig. 1. The visual appearance of thermal insulated lift pipe and Dewar' cryogenic storage.

Unlike the Scotsman, glassblower R Burger from Berlin saw commercial value in Dewar's invention. He upgraded the design by placing a frangible flask of glass in a galvanized iron cover and in 1903 received a patent for a "flask with double walls and a vacuum between it", founding a company called Thermos GmbH. Household Dewar vessels, which are commonly known as "thermos", haven't changed since then. Industrial processes of "thermocase" type heat conversion were developed in the 20th century and continued to develop. The first insulated lines with screen vacuum thermal insulation were created for refueling space rockets at the launching plant: cryogenic propellant and oxygen carrier – liquid hydrogen and oxygen – were fed into the tanks through these lines. Screen vacuum thermal

insulation technologies have found it application in various industries, including oil and gas industry in the production of ILP [1].

A3 The overview of domestic and foreign designs of vacuum insulated casing tubes (VICT) and VIT.

The review describes the useful designs of VICT and VIT of the USSR and the Russian Federation and 7 US and German patents which have been published since 1966[3]

In 1968, the design of VIT, where the thin-sheet shielding material was overlapped on the inner tube and was protected by casing from outside, was patented.

In 1970, the use of potassium silicates in the vacuum insulated column for the thermal insulation in the annular space between outer and inner tubes was suggested. The original stuffing box unit for the sealing when inner tubes in telescopically interconnected sections extends was developed [4]

WG Allen described the vacuum insulated column, where thermally-insulating (polyurethane foam) and shielding materials are placed in the evacuated tube space between outer and inner tubes.

In 1973 AN Krashenninikov developed the original design of VIT. Later, PA Barber and co-author recommended to use the thermal insulation of polyurethane foam with the density of 300÷600 kg/m³, which is made in the form of hemisphere. The surface of this hemisphere must be shielded by impermeable to oil and water material.

In 1977 SN Buzinov, VS Smirnov et al described the design of VIT which consist of main carrier tube with threaded ends and clutch on one of them; inner metal tube – casing; metal flexible elements - diaphragms welded to the main tube and casing; thermal insulation (phenol foams like PRF-1 or polyurethane foams like PF-309); foil covering placed on the outer surface of the casing. Diaphragms are used as compensators for linear displacements of welded tubes, ensure the minimal heat leakage along the tube ends and protect the thermal

insulation from mechanical and hydraulic loads. The one-and-a-half section of diaphragm made of stainless steel with the thermal conductivity coefficient of 3 times less than the ordinary carbon steel was proposed. Bench tests of VIT prototypes were carried out at the pilot plant of VNIIGAZ. The tube manufacturing technology was developed together with AzINMASH.

In 1996 VS Smirnov and co-workers proposed the design of VIT with quarter diaphragms, which works longer without deformation (destruction) than one-and-a-half diaphragms (figure A.1). The recommended gap between casings at the joints is $2\div 5$ mm [7].

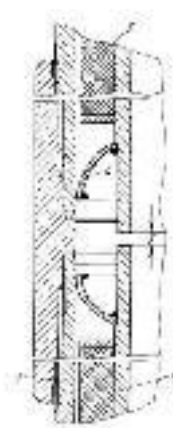


Figure A.1 – VIT; 1 – the main carrier tube, 2 – the sealed casing, 3 – the heat insulation, 4 – the quarter diaphragm [7]

In the late 70s VV Bobrovsky, NP Kubarev recommended to use the VIT (H71M1) in case of formation steam pumping which consists of coaxially arranged outer production string with adapters and the inner tube. The ends of the inner tube are rigidly connected to the outer tube. The annular gaps between tubes are filled with the heat insulating material (airgel) in the vacuum. The tubes are connected to the column by clutch with trapezoidal thread.

In 1983, DM McStravick and his coauthor suggested to use tubes which consist of outer and inner tubes, insulation between them and at the junction of adjacent tube sections to minimize the heat losses during the steam injection. The inner tube should consist of the straight section and externally expanding end section, which is welded to the outer tube.

In the same years, *Thermocase* (USA, *General Electric*) developed thermally insulated producing tubes, which consist of outer and inner tubes and insulation between them. The insulation is alternating layers of macroporous polymeric material (elastic web of the 1.5 mm wide) and amalgamated plastic film (for example, mylar) which is wound onto the cylindrical base which is covered inside and outside with amalgam. The space between outer and inner tubes is evacuated or filled with low-conductive gas (for example, krypton).

In 1979 AM Popov recommended to use the heat insulation layers (for example, calcium silicate) in the joint of outer tubes connection.

In the early 80s AM Popov, AR Alexandrov, GI Dudin et al proposed to use the shielding material (aluminum foil) fixed on the asbestos mesh and insulating material (for example, asbestos) as thermal insulation in the VIT [3]. Later, AR Alexandrov, AV Orlov and others recommended to use basalt canvas and aluminum foil as thermal insulation for the VIT.

In the same year EO Stephenson and others recommended to use the VIT with multilayer insulation or glass microspheres in the design of the injection steam well, where the annular space between outer and inner tubes is filled with the low conductivity gas.

In 1984 F Ebeling and co-workers suggested to use the soft polyurethane foam on which synthetic tape is wound for the thermal insulation of tubes in the well.

In the next year JH Brady et al recommended to seal the annular space between outer and inner tubes in the VIT. In the late 80s MV Artemyev and FG Arzamastsev also recommended to use the heat insulating material (airgel) between outer and inner tubes in the VIT to inject the heat carrier into the formation.

In the early 90s BA Chernov et al suggested to use the sleeve with sealing ring and clutch with sealing inserts in the design of the VIT to increase the reliability. The sleeve and inserts are made of the material with the high linear coefficient of the thermal expansion. VG Kalbazov, VA Sarychev recommended

to get the thread put on the outer surface of the one end of VIT, and make the bellmouth with the threaded section on the inner surface of the another end Moreover, the space between outer and inner tubes is filled with multi-layered fiberglass and evacuated In the mid-90s AI Stryukov, ZS Salikhov and co-workers suggested to use VIT – 89×133 in production wells at the *Bovanenkovo field* The VIT section consists of double-tube system, where the annular space is sealed and filled with multi-layer vacuum insulation: thermal-insulating material (such as ultra-thin fiberglass) and thermal-reflecting screens (aluminum foil) with the temperature resistance of 300÷400 °C The recommended thermal conductivity of the insulation is not more than 0,01 kcal/m·h·deg and the pressure in the annular space $10^{-1} - 10^{-2}$ mm Hg There are getters in the annular space Threaded connections are insulated by sleeves with the thermal conductivity of not more than 0,06 kcal/m·h·deg [2].

In the late 90s AV Fedoseev, AR Aleksandrov, VA Rachkovsky, GM Marchenko, EA Spiridovich worked on the design of the thermally insulated column At the same time, VI Kudinov, EI Bogomolny, MP Zavyalov et al proposed to vacuum the annular space up filled with multi-layered screen insulation (layers of aluminum foil and glass mesh) in the VIT to $10^{-4} - 10^{-3}$ mm Hg In the early 2000s ZS Salikhov and co-workers recommended to perform the thread of the clutch on the outer tube end and thread of the stem (on which the replaceable adapter is screwed) on another end In the same years, RR Bagirov, SD Biryukov et al proposed to use the welded inner tube consisting of 3 parts in the thermal-insulated column (figure A2).

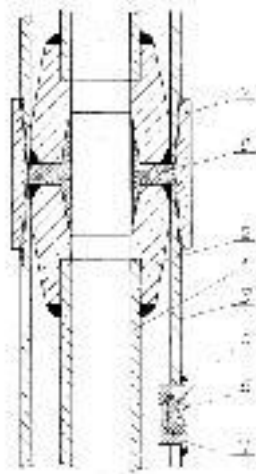


Figure A2 - thermal-insulated column; 1 – the inner tube; 2 – the bellmouth; 3 – the outer tube; 4 – the seat; 5 – the valve; 6 – the copper pad; 7 – the clutch; 8 – the sealing sleeve [2]

According to IF Kalacheva, RN Rakhmanova, RM Shammassova the outer surface of VIT should be covered with corrosion-resistant composition and the inner surface with thermal-reflective composition. In 2007, RR Bagirov and MP Zavyalov and co-authors noted that it is necessary to place the polytetrafluoroethylene sealing ring in the annular space between outer and inner tubes to keep the vacuum in the VIT.

IV Schapin et al recommended to evacuate the annular space of the VIT ($\sim(10\div 13)\cdot 10^{-6}$ MPa) and fill it with the inert gas (for example, krypton, xenon); to use multi-layered screen insulation (layers of aluminum foil and glass mesh) which alternates with layers of thermal insulating material (for example, fiberglass or basalt fiber) to use the clutch with insulating insert (figure A3) [5]

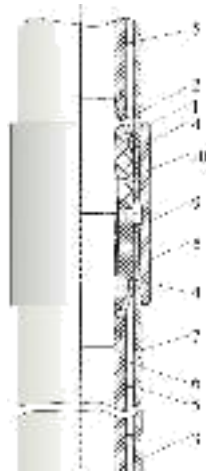


Figure A3 – VIT; 1 – the outer tube; 2 – the inner tube; 3 – the annular space between outer and inner tubes; 4 – the vacuum tight joint; 5 – the centralizer; 6 – the multi-layered insulation; 7 – the valve hole; 8 – the thread; 9 – the clutch; 10 – the insulating insert [5]

ND Tskhadaya with co-authors developed the original joint of outer and inner tubes for the VIT; suggested to use multi-layered screen insulation (layers of aluminum foil and glass mesh) which alternates with layers of thermal insulating material (for example, fiberglass or basalt fiber) [5].

The authors of the patent VP Melikhov, VG Prokopenko et al suggested to use multi-layered screen insulation (layers of glass mesh and perforated foil) for the VIT. Moreover, in the middle of the tube, the insulation was strengthened by mat. The annular space between tubes was vacuumized to $10^{-10} \div 10^{-11}$ MPa [6].

In 1989 the authors B.V. Degtyarev and others recommended using heat insulating pipe junction made of foamed plastic (for example polyurethane) in an insulated line, located between outer pipe and powdered heat conservation. Thermal resistance of the pipe junction corresponds to the thermal resistance of the heat conservation. In 1992 VI Bozhko and others proposed to insulate lines by sequentially applying on it:

- 1) Insulation from an air and basalt fiber mixture with a thickness of 10-15 mm;
- 2) Dewatering (a tape made of a material that changes its shape and size because of the heating) Then it's necessary to heat the line for 1-5 minutes at 120-150°C.

Authors AV Fedoseev, AR Aleksandrov and others recommend using heat conservation made of foil and basalt fiber for an insulated pipe, and also recommend thermal expansion joint in the form of an orifice plate with quarter-toroidal section.

ND Tskhadaya and VN Volkov noted that the cover in ILP must be produced linearly from two fixedly connected parts made of different metals, one of which has "shape memory." When the ILP is heated, the part of the covering made from usual gauge will lengthen, and the other part will shorten in equal measure. Insulating material located between covering and outer pipes consists of interstratified beds of foil and basalt felt.

In 2007 VF Buslaev proposed using two line variants to reduce weight and price of ILP. First variant is a pipe made of epoxy resin with addition of ~20-30 vol% glass microsphere (0,025 mm). Second variant is a steel pipe with heat conservation made of epoxy resins with the addition of ~60 vol% glass microsphere. Moreover, foil made of aluminium is used for thermal conservation for this pipe.

To reduce heat loss and prevent paraffin buildup SA Shakarov et al offered to use multilayer thermal insulation for an insulated pipe (for example, woven scrim and aluminium foil), to make grit blasting of the inner pipe and inner part of outer pipe, to heat inner pipe from the inside to 300°C and then apply silicate and enamel coating to two or more layers of its inner part, to put annulus under vacuum to $10^{-8} \div 10^{-10}$ mm Hg, to wind round elastic coupling with sealing bush on the one end of outer pipe and a cross-over shoe with sealing bush on the other end.

At the end of 2000s V.V Emelyanov, VN Korshunov et al proposed to use polymer with glass microspheres filled with inert gas as thermal conservation for an thermal insulated pipe, as well as to use terminal lug of the original device MI Gorilovsky and others recommended using poly urethane foam, polyisocyanurate foam as thermal insulation for an insulated pipe.

Authors AI Grekhov, VS Goncharov and others recommended using insulation joint to connect insulated pipes when installing coupling, which includes an outer polymeric bush sleeve (for example, polytetrafluoroethylene) and inner bush sleeve made of metal VA Moiseev et al noted that in insulated pipe it is necessary to use heat conservation with interstratified beds consisting of basalt plating – heat-reflecting material (for example, aluminium foil) – insulating material (for example, multisiliceous felt) – heat-reflecting material – fiberglass It was proposed to attach a protective layer, which is a plastic pipe, to the fiberglass layer.

Conclusion

In the work the technology of electron-beam welding of supporting and inner pipes on one operating practice of vacuum pumping - welding in two operating practices using the knife fusion penetration effect - been worked out. An additional pass with an out-of-focus electron beam after welding allows to eliminate undercutting caused by welding with fine-focused electron beam and to implement tempering the weld joint to eliminate non-equilibrium structure formation.