

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

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Исследование влияния параметров вакуумной электронно-лучевой сварки на структуру и свойства сварного соединения пробки откачного отверстия термоизолированной трубы

УДК 621.791.722.052.011:622.691.4.076

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1ВМ71	Федин Евгений Александрович		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОЭИ	Гнюсов Сергей Фёдорович	д.т.н., профессор		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН	Фадеева В.Н.	к.ф.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ООД	Дашковский А.Г.	к.т.н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

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

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

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
1ВМ71	Федину Евгению Александровичу

Тема работы:

Исследование влияния параметров вакуумной электронно-лучевой сварки на структуру и свойства сварного соединения пробки откачного отверстия термоизолированной трубы	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	от 13.05.2019 № 3645/С

Срок сдачи студентом выполненной работы:	06.06.2019
--	------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<p>Трубные и сварные заготовки после электронно-лучевой сварки по различным технологическим режимам</p>
---	---

<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Обзор литературы. 2. Материалы, оборудование и методы исследования. 3. Экспериментальная часть. 4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность 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. Титульный лист (название работы) 2. Цель исследования 3. Материалы и методы исследования 4. Эксперименты. 5. Микроструктура. 6. Результаты и выводы. 7. Экономическая часть и социальная ответственность. 8. Заключение.
--	--

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы
(с указанием разделов)

Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Фадеева В.Н.
Социальная ответственность	Дашковский А.Г.

Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках: Обзор литературы. Literature review.

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

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОЭИ	С.Ф. Гнюсов	Д.т.н., профессор		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1ВМ 71	Федин Е.А.		

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

Студенту:

Группа	ФИО
1ВМ71	Федин Евгений Александрович

Школа	Неразрушающего контроля и безопасности	Отделение школы	Электронной инженерии
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	15.04.01 Машиностроение

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	1. Цена теплоизолированной лифтовой трубы 800 руб/м; Цена металла (листовой прокат) 523 руб/м. Тариф на электрическую энергию 3.5руб./КВтч.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	2. Норма амортизации 10%. 30% премии; 20% надбавки; 13,5% дополнительная заработная плата; 16% накладные расходы; 1,3 районный коэффициент.
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	3. Отчисления от заработной платы по единому социальному налогу 30%

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ	1. Анализ конкурентных технических решений; SWOT-анализ; определение возможных альтернатив проведения научных исследований
2. Разработка устава научно-технического проекта	2. Определение этапов работ; определение трудоемкости работ.
3. Обоснование необходимых инвестиций для разработки и внедрения ИР	3. Определение затрат на проектирование
4. Оценка ресурсной, финансовой, экономической эффективности	4. Определение трудозатрат, энергозатрат, затрат на материалы, амортизацию оборудования

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

<ol style="list-style-type: none"> 1. «Портрет» потребителя результатов НТИ 2. Оценка конкурентоспособности ИР 3. Матрица SWOT 4. Определение возможных альтернатив проведения НТИ 5. Оценка готовности проекта к коммерциализации 6. Перечень этапов работ и распределение исполнителей 7. Диаграмма Ганта
--

- | |
|---|
| 8. График проведения и бюджет НИИ |
| 9. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИИ |

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Фадеева В.Н.	к.ф.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1ВМ71	Федин Е.А.		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

Группа	ФИО
<u>1 ВМ 71</u>	Федин Евгений Александрович

Институт	Неразрушающего контроля	Кафедра	Электронной инженерии
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	Машиностроение 15.04.01.

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Описание рабочего места (рабочей зоны, технологического процесса,	Помещение с естественной вентиляцией воздуха расположено на 2 этаже 9 эт. производственного корпуса. В помещении размещено оборудование: ПЭВМ, площадь помещения составляет: 30 м2, размещено 4 РМ.
2. Отбор законодательных и нормативных документов по теме.	ГОСТ 12.1.019 -79 (с изм. №1) ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты. ГОСТ 12.0.003-74 (с измен. 1999 г.) Опасные и вредные производственные факторы. Классификация. ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ. Общие санитарно - гигиенические требования к воздуху рабочей зоны. ГОСТ 12.1.003-2014 "ССБТ. Шум. Общие требования безопасности"

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности:	Анализ выявленных вредных факторов: - Производственный шум ; - ультрафиолетовое излучение ; - запыленность и загазованность воздуха ; - ожоги при сварочных работах.
2. Анализ выявленных опасных факторов проектируемой произведённой среды в следующей последовательности	Анализ выявленных опасных факторов: - Электрический ток ; - пожаровзрывоопасность .
3. Охрана окружающей среды:	Анализ влияния производства на окружающую среду : Хранение и утилизация люминесцентных ламп.
4. Защита в чрезвычайных ситуациях:	Вероятной ЧС является пожар : эвакуация, средства тушения
5. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности и социальной защиты работников на предприятии	Социальная защита : - Правовые нормы трудового законодательства.

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Дашковский А.Г.	к.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1 ВМ 71	Федин Е. А.		

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

Школа **неразрушающего контроля и безопасности**

Направление подготовки **15.04.01 Машиностроение**

Уровень образования **магистратура**

Отделение **электронной инженерии**

Период выполнения (осенний / весенний семестр 2018 /2019 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:	31.05.2019
--	------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
27.01.2019	1 Литературный обзор	25
14.02.2019	2 Материалы, оборудование и методы исследования	5
02.03.2019	3 Экспериментальная часть	35
16.03.2019	4 Выводы	10
	5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	15
	6 Социальная ответственность	10

СОСТАВИЛ:

Руководитель ВКР

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

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП

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

Реферат:

Выпускная квалификационная работа содержит: 117 страниц, 12 рисунков, 28 таблиц.

Ключевые слова: Электронно-лучевая сварка (ЭЛС), термолифтовая труба (ТЛТ).

Объектом исследования является: Сварное соединение пробки откачного отверстия термоизолированной трубы

Цель работы: Отработка технологии электронно-лучевой сварки (ЭЛС) теплоизолированной лифтовой трубы с пробкой, помещенной в откачное отверстие в одном технологическом режиме «откачка вакуума — сварка».

Степень внедрения: Разработанная технология ЭЛС трубы с пробкой внедрена в технологический процесс производства труб с экранно-вакуумной изоляцией на предприятие ООО «НПФ Кубаньнефтемаш»

Область применения: Использование теплоизолированных лифтовых труб в нефтегазодобывающей промышленности для добычи трудноизвлекаемых углеводородов. Повышение эффективности использования оборудования в производстве.

Экономическая эффективность/значимость работы: Предприятие-заказчик ООО «НПФ Кубаньнефтемаш» внедрило новую технологию, которая позволила сократить количество брака при изготовлении готовой продукции на 10%.

Abstract:

Final qualifying work: 117 pages, 12 tables, 28 figures.

Keywords: electron-beam welding (EBW), vacuum insulated tubing (VIT), exhaust hole plug.

The object of the study is: exhaust hole plug and vacuum insulated tubing welded joint.

The purpose of work is: Development of the electron-beam welding (EBW) technology which contains vacuum insulated tubing (VIT) with a plug placed in an exhaust hole in «vacuum pumping-welding» technological mode.

Degree of implementation: The electron-beam welding (EBW) technology has been introduced into the technological tube producing process with screen-vacuum insulation at the «NPF Kubanneftemash» limited company.

Field of application: The use of vacuum insulated tubing (VIT) in the oil and gas industry for hard-to-recover hydrocarbons production. Improving the production equipment efficiency.

Economic efficiency / importance of the final qualifying work is: «NPF Kubanneftemash» limited company (the company-customer) introduced the new technology. This technology reduced the number of defects in the manufacture of final product by 10 %.

Оглавление	С.
Введение	14
1. Литературный обзор	17
1.1 Применение теплоизолированных лифтовых труб в нефтегазодобывающей промышленности	17
1.1.1 Применение ТЛТ для предотвращения оттаивания многолетнемерзлых пород вокруг ствола скважины	17
1.1.2 Применение ТЛТ для предотвращения парафинообразования в лифтовой колонне	19
1.1.3 Применение ТЛТ для закачки горячей воды или пара в скважину при добыче высоко вязкой нефти	20
1.1.4 Применение ТЛТ для предотвращения гидратообразования	22
1.1.5 Применение ТЛТ в морских скважинах.....	22
1.2 Обзор отечественных и зарубежных конструкций теплоизолированных обсадных и лифтовых труб.....	23
1.3 Освоение технологии производства труб лифтовых теплоизолированных (ТЛТ).....	30
1.4 Стали, применяемые для производства термолифтовых труб и способы их сварки	32
1.5 Концентрированные потоки энергии	33
1.6 Особенности вакуумной электронно-лучевой сварки.....	34
1.7 Постановка задачи.....	38
2. Материалы, оборудование и методы исследования.....	41
2.1 Материал лифтовых труб, пробки и крышечки.....	41
2.2 Оборудование для сварки	42
2.3 Анализ структуры сварных соединений	45
3 Экспериментальная часть	46
4. Финансовый менеджмент и ресурсоэффективность	51
4.1 Планирование работ по электронно-лучевой сварке теплоизолированной лифтовой трубы с пробкой	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
4.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ	63
4.2.3 Разработка графика проведения проекта	64
4.3 Обоснование необходимых инвестиций для разработки и внедрения ИР	69
4.3.1 Бюджет затрат на проектирование	69
4.3.2 Расчет материальных затрат проекта	69
4.3.3 Основная заработная плата и дополнительная заработная плата исполнителей проекта.....	70
4.3.4 Отчисления в социальные нужды	72
4.3.5 Накладные расходы.....	73
4.3.6 Формирование бюджета затрат на проектирование.....	74
4.4 Определение ресурсной, финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	75
5 Социальная ответственность	79
5.1 Анализ вредных и опасных факторов на рабочем месте	79
5.1.1 Производственный шум.....	80
5.1.2 Ультрафиолетовое излучение (УФИ).....	81
5.1.3 Запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны	82
5.1.4 Ожоги при сварочных работах	83
5.2 Защита от поражения электрическим током	84
5.2.1 Электробезопасность. Расчет защитного заземления	84
5.2.3 Пожаровзрывоопасность.....	86

5.3 Экологическая безопасность	88
5.3.1 Анализ влияния процесса исследования на окружающую среду	88
5.3.2 Мероприятия по защите окружающей среды	88
5.4 Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС и разработка порядка действия в случае возникновения ЧС.....	89
5.4.1 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	90
5.5 Социальная защита пострадавших на производстве.....	91
5.5.1 Общие принципы возмещения причиненного вреда.....	91
5.5.2 Социальное страхование	92
5.5.3 Виды обеспечения по страхованию:	93
5.5.4 Пособие по временной нетрудоспособности.....	94
5.5.5 Единовременные и ежемесячные выплаты.....	94
Заключение.....	96
Список публикаций студента	98
Приложение А.....	99
Приложение Б.....	110
Список используемых источников.....	113

Введение

В связи с истощением активно разрабатываемых в настоящее время месторождений нефти, нефтегазодобывающие компании уделяют всё большее внимание развитию методов разработки месторождений тяжелых нефтей и природных битумов. Совершенствование технологий добычи трудноизвлекаемых углеводородов приобретает всё большую актуальность, поскольку запасы этих ресурсов уже превышают запасы обычной (легкой) нефти и доля их будет возрастать по мере добычи легкой нефти. Наиболее широко применяемыми методами добычи тяжелых нефтей и природных битумов являются паротепловые обработки призабойных зон скважин [1]. Процесс паротепловой обработки скважины призабойной зоны заключается в периодической закачке перегретого до 350 °С пара в добывающие скважины для разогрева призабойной зоны пласта и снижения в ней вязкости нефти с последующим извлечением разжиженного сырья.

Важным условием эффективности паротепловых методов является сохранение высокой температуры пара в области его воздействия на пласт. Для этого используют теплоизолированные трубы, которые состоят из коаксиально расположенных труб с экранно-вакуумной изоляцией в межтрубном промежутке. Кроме закачки горячей воды или пара в скважину при добыче трудноизвлекаемой высоковязкой нефти теплоизолированные трубы с экранно-вакуумной изоляцией применяют для предотвращения оттаивания многолетнемерзлых пород вокруг ствола скважины, предотвращения парафинообразования в лифтовой колонне и гидратообразования в морских скважинах [2-4].

Условием долговременной работы теплоизолированной вакуумной трубы является не только откачка межтрубного промежутка до высоких значений вакуума, но и сохранения в межтрубном промежутке давления, не превышающем 10^{-4} мм.рт.ст. в течение всего времени работы

теплоизолированной трубы. При таком давлении длина свободного пробега молекул остаточного газа превышает характерные геометрические размеры в межтрубном промежутке и перенос тепла от внутренней трубы к наружной происходит только за счет излучения, а перенос тепла газом (за счет теплопроводности и конвекции) практически полностью исключается. 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 350оС пара.

Заключительной и самой ответственной операцией в процессе вакуумирования теплоизолированной трубы является герметизация откачного отверстия. На производстве теплоизолированных труб данная задача решается разными способами. Например, используют разборный узел герметизации откачного отверстия, позволяющий проводить многократную откачку межтрубного промежутка, герметичность которого обеспечивается за счет медной прокладки [4, 5]. Также используют запрессовку стальной пробки или стального шарика с последующей заваркой пробки или приваркой крышечки поверх шарика [6]. Но в обоих случаях герметичность пробки часто нарушается за счет деформации труб в скважине, собранных в колонну при паротепловом воздействии или деформации металла в процессе приварки пробки или крышечки, приводящей к нарушению герметичности в месте уплотнения откачного отверстия и нарушения вакуумплотного соединения. Это приводит к браку при производстве и нестабильности теплоизолирующих характеристик труб.

Обеспечение вакуумплотного надежного соединения в области откачного отверстия теплоизолированной трубы является важной задачей, определяющей качественные характеристики конечного продукта. Для решения задачи вакуумплотной герметизации откачного отверстия на заключительной стадии процесса откачки перспективным является использование электронного луча для вакуумной сварки трубы с пробкой, помещаемой в откачное

отверстие. Причем, деформация трубы в процессе эксплуатации или в процессе приварки защитной крышки поверх пробки никоим образом не будут влиять на герметичность сварного соединения пробки с трубой, и в межтрубном промежутке будет сохраняться вакуум, обеспечивающий высокие теплоизолирующие свойства.

Целью работы является отработка технологии электронно-лучевой сварки (ЭЛС) теплоизолированной лифтовой трубы с пробкой, помещенной в откачное отверстие в одном технологическом режиме «откачка вакуума — сварка».

Для достижения поставленной цели в работе необходимо решить следующие задачи:

- 1) провести электронно-лучевую сварку соединений трубы с пробкой по различным технологическим режимам;
- 2) для дополнительной защиты пробки и проведения термической обработки ранее сформированного сварного соединения, провести на ряде труб аргонодуговую сварку крышечки к телу трубы с использованием присадочного материала - проволоки марки Св-08;
- 3) осуществить анализ микроструктуры всех сварных соединений;
- 4) провести рентгенофазовый анализ основного металла и сварных соединений;
- 5) сделать замер микротвердость (HV) по ГОСТ 9450-76 «Измерение микротвердости вдавливанием алмазных наконечников» на приборе ПМТ-3 сварных соединений;
- 6) на основе полученных данных выбрать наиболее рациональный режим электронно-лучевой сварки трубы с пробкой, провести сварку по предлагаемому режиму, промышленные испытания теплоизолированной лифтовой трубы и внедрить данную технологию в ООО «НПФ Кубаньнефтемаш».

1 Литературный обзор

1.1 Применение теплоизолированных лифтовых труб в нефтегазодобывающей промышленности

1.1.1 Применение ТЛТ для предотвращения оттаивания многолетнемерзлых пород вокруг ствола скважины

Промышленные технологии теплоизоляции типа «термокейс» получили свое развитие в XX веке 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). Опыт длительной эксплуатации газовых скважин в условиях Крайнего Севера, Тюменской области и Красноярского края показал, что добыча газа часто сопровождается приустьевыми обвалами, потерей устойчивости верхней части крепи с перекосом фонтанных арматур, смятием колонн и другими осложнениями, вызванными протаиванием высокольдистых пород вокруг ствола скважины. Мероприятия по ликвидации осложнений (периодическая засыпка грунта в приустьевые воронки, установка растяжек, капитальный ремонт скважин) связаны с большими эксплуатационными расходами и не исключают повторения этих негативных проявлений в будущем. В связи с протаиванием грунта приходится увеличивать расстояние между скважинами куста, что при кустовом способе добычи крайне нежелательно. Одним из способов надежной защиты от растепления многолетнемерзлых пород (ММП) вокруг ствола скважины на период ее эксплуатации является применение

теплоизолированных лифтовых труб с экранно-вакуумной теплоизоляцией в качестве верхней секции лифтовой колонны [2].

Специалистами ООО «Газпром ВНИИГАЗ» проводился мониторинг скважин, расположенных в зоне ММП, оборудованных ТЛТ. Экспериментальные скважины, оборудованные теплоизолированными лифтовыми трубами термометрическими трубками-сателлитами, спущенными по внешней стенке обсадной колонны на глубину до 60 м. В процессе отжига скважин на факел в этих трубках измерялась температура воздуха. По результатам измерений рассчитывались теплотехнические характеристики скважин. Расчеты показали, что для сохранения околоскважинных пород с учетом температур на устьях скважин около 28–30 °С коэффициент теплоотдачи не должен превышать $0,1 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{С}}$, что соответствует коэффициенту теплопроводности ТЛТ не более $0,012 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{С}}$.

Впоследствии это значение коэффициента теплопроводности было зафиксировано в качестве нормативного требования в корпоративном стандарте СТО Газпром 2-3,2-174-2007, регламентирующем технические требования к ТЛТ. При указанных выше коэффициентах теплопроводности ТЛТ, полученных в ходе промысловых испытаний, вокруг скважин будут формироваться ореолы оттаивания радиусом 3–6 м в зависимости от литологического состава и засоленности ММП. В случаях же эксплуатации не теплоизолированных скважин прогнозируемый радиус ореола составит 9–12 м. Таким образом, сохранение ММП, вмещающих добывающие скважины на горизонтах ТП1–6 Бованенковского нефтегазоконденсатного месторождения, только с использованием ТЛТ позволяет в 2 раза сократить радиус оттаивания [2].

На основании вышеизложенного специалистами ПАО «Газпром» было принято комплексное решение по термостабилизации ММП приустьевых зон

добывающих скважин Бованенковского месторождения с использованием в их конструкции ТЛТ и парожидкостных охлаждающих систем.

В 2001 г. на кустовой площадке № 64 Бованенковского месторождения реализован промышленный эксперимент, в ходе которого из скважины №6401, оборудованной ТЛТ и парожидкостными термостабилизаторами, в течение 1,5 года осуществлялась добыча газа с дебитом около 700 тыс. м³/сут и температурой на устье около 30 °С. Мониторинг скважины в течение годового цикла показал, что ореол оттаивания, формирующийся вокруг добывающей скважины, в летний период выходит за пределы цементного кольца не более чем на 0,3 м. Зимой формирующийся ореол оттаивания полностью промерзает, т. е. вмещающие скважину многолетнемерзлые породы сохраняются в мерзлом состоянии. На конец 2015 г. на Бованенковском месторождении, запущенном в эксплуатацию в 2012 г., построено и работает 296 добывающих газоконденсатных скважин на 33 кустовых площадках.

В соответствии с проектной документацией в скважины спущены ТЛТ [3]. В целях решения проблемы протаивания грунта вокруг ствола скважин целесообразно дополнительно к ТЛТ применить теплоизолированное направление обсадной колонны с вакуумной теплоизоляцией. При этом состояние вакуума в теплоизолированном направлении можно контролировать и при необходимости восстанавливать его непосредственно на функционирующей скважине [2].

1.1.2 Применение ТЛТ для предотвращения парафинообразования в лифтовой колонне

Проблема образования парафинов в колонне НКТ является одним из основных осложнений, возникающих при добыче нефти. На скорость парафинизации и толщину отложений влияет множество факторов: длина и диаметр колонны лифтовых труб, геотермический градиент ствола скважины,

рабочее давление, вязкость нефти. Одним из главных факторов является понижение температуры нефти при ее движении от пласта к устью скважины, в результате потери теплоты через стенки труб скважины в окружающие породы. Процесс образования парафинов может быть значительно ослаблен или вовсе исключен за счет применения ТЛТ. Исходя из опыта ПАО «Газпром», спуск ТЛТ на глубину до 1500 м позволит обеспечить сохранение устьевого температуры добываемой продукции скважины на уровне выше температуры образования парафинов.

На нефтяных скважинах Уренгойского НГКМ проводились испытания различных способов предупреждения и ликвидации асфальтеносмолопарафиновых отложений (АСПО). Для борьбы с ними применялись тепловые, электромагнитные и другие методы, различные реагенты. В результате применения на скв. № 20135 опытной партии ТЛТ размером 114×73 мм со спуском подвески в интервале 0–2000 м был повышен на 30 % средний дебет нефти газлифтной эксплуатации, практически исключились тепловые обработки и в четыре раза сократились скребковые операции. Для сохранения температуры флюида, выходящего из скважины, предлагается установка в начало выкидной линии электронагревательных секций ТЛТ. В продолжение нагнетательной линии и в качестве лифтовой колонны применены обычные ТЛТ с вакуумной теплоизоляцией без нагрева [2].

1.1.3 Применение ТЛТ для закачки горячей воды или пара в скважину при добыче высоко вязкой нефти

Если пластовая температура равна или близка к температуре начала кристаллизации парафина в пластовых условиях, вытеснение нефти холодной водой приведет к охлаждению пласта, выпадению парафина и закупорке пор.

Нагнетаемая холодная вода станет источником охлаждения выше и ниже залегающих менее проницаемых прослоев. Охлаждение приведет в лучшем случае к загустению нефти, а в худшем – к выпадению растворенных парафинов в твердую фазу и консервации запасов нефти в пластах. Указанные особенности свойств нефти и сильная послойная неоднородность пласта могут привести к получению значительного эффекта при закачке в такой пласт теплоносителя (перегретый пар, горячая вода).

В этом случае теплоноситель, проникая по хорошо проницаемому прослою, прогревает выше и ниже залегающие слои пласта, что приводит к снижению вязкости нефти и способствует более полному извлечению запасов. Рекомендуется оборудовать нагнетательную скважину ТЛТ для уменьшения потерь при закачке в пласт теплоносителя. Эффективность этого метода при добыче нефти рассмотрим на опыте применения его ОАО «Удмуртнефть», специалистами которого совместно с учеными ряда институтов проводились работы по созданию принципиально новых ресурсо- и энергосберегающих технологий, позволяющих вывести заведомо нерентабельные запасы высоковязкой нефти Гремихинского месторождения в разряд прибыльных.

В 1983 г. были начаты экспериментальные работы по нагнетанию в пласт теплоносителя: горячей воды с температурой на устье скважин 260 °С. В результате были созданы, запатентованы и внедрены в производство технологии теплового воздействия: импульсно-дозированное тепловое воздействие (ИДТВ), импульсно-дозированное тепловое воздействие с паузой (ИДТВ(П)), теплоциклическое воздействие на пласт (ТЦВП) и его модификации [4].

Эти технологии уже более 30 лет были успешно внедрены на Гремихинском месторождении: ИДТВ – с 1986 г., ИДТВ(П) – с 1988 г., ТЦВП – с 1988 г. Внедрение данных технологий в других нефтедобывающих районах с аналогичными условиями и вязкими нефтями может дать прирост добычи на уже обустроенных месторождениях [2].

1.1.4 Применение ТЛТ для предотвращения гидратообразования

Многие компоненты природного газа (метан, этан, пропан, изобутан, углекислый газ, азот, сероводород) в соединении с водой образуют так называемые газовые гидраты – твердые кристаллические вещества, напоминающие по внешнему виду спрессованный снег, которые существуют при высоких давлениях и положительных температурах. При добыче газа гидраты могут образовываться на внутренней поверхности лифтовых труб. Откладываясь на стенках, гидраты резко уменьшают пропускную способность труб. Для борьбы с гидратообразованием на газовых промыслах в скважины вводят различные ингибиторы (метиловый спирт, гликоли, 30%-й раствор CaCl_2). Не менее эффективный вариант борьбы с гидратацией в скважине заключается в поддержании температуры потока газа выше температуры гидратообразования за счет использования в качестве НКТ теплоизолированных лифтовых труб. При этом сокращается, а иногда и вообще исключается использование ингибиторов [2].

1.1.5 Применение ТЛТ в морских скважинах

В последние годы интенсивно ведется освоение шельфовой зоны Арктики, Европейского Севера, Дальнего Востока. При эксплуатации морских скважин, добывающих нефть или газ, возникновение гидратообразования и парафиновых отложений сильно выражено в зоне морского дна, где нагретый флюид резко переходит в зону пониженной температуры. В некоторых случаях запуск подводных скважин может быть осложнен из-за существенных тепловых потерь и гидратообразования именно в зоне морского дна. В этом случае применение ТЛТ особенно актуально.

Применение ТЛТ в морских скважинах также необходимо для поддержания экологического баланса. Изменение температуры всего на два градуса в зоне добычи нефти и газа из морских скважин может привести к необратимым экологическим последствиям. При большом дебете глубоководных скважин значительно возрастает температура в подводной части ствола скважины. Если в затрубном пространстве обсадных труб в процессе строительства скважины остались изолированные пустоты, разогрев воздуха в них вызовет увеличение его давления, и как следствие может произойти смятие обсадной колонны. Для предотвращения таких случаев рекомендуется применять ТЛТ в подводной части колонны НКТ [2].

1.2 Обзор отечественных и зарубежных конструкций теплоизолированных обсадных и лифтовых 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 [11].

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 [9].

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 [12].

В 1973 г. А.Н. Крашенинников разработал оригинальную конструкцию теплоизолированной трубы [11]. Позже, Р.А. Barber с соавтором рекомендовали на обсадные трубы надевать незащищенную кожухами теплоизоляцию из пенополиуретана плотностью от $300 \div 600$ кг/м³, изготавливаемую в виде полускорлуп, поверхность которых должна экранироваться непроницаемым для нефти и воды материалом [13].

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 ФРП–1 или пенополиуретаны типа ППУ–309); альфолового покрытия (фольги), помещенного на наружной поверхности кожуха [12]. 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 [10].

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 1.1). Рекомендуемый расчетный зазор между кожухами на стыках – $2 \div 5$ мм [6].

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 [11]. 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.

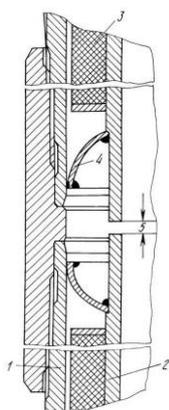


Рисунок 1.1 – Лифтовая теплоизолированная труба; 1 – несущая труба, – герметичный кожух, 3 – теплоизоляция, 4 – четвертьторцовая торцовая диафрагма [6]

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 [12].

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) [12].

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 [11].

В начале 80–х гг. А.М. Попов, 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) [11]. Позже, А.Р. Александров, А.В. Орлов и др. рекомендовали использовать базальтовый холст и алюминиевую фольгу в качестве теплоизоляции для термоизолированной трубы [11].

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 [12].

В 1984 г. F. Ebeling с соавторами предложили для теплоизоляции труб в скважине использовать мягкий пенополиуретан, на который намотана синтетическая лента [12].

В следующем году J.H. Brady и др. рекомендовали в теплоизолированной трубе герметизировать кольцевую полость между наружной и внутренней трубами [12]. 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 [11].

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 [11]. 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 $0,01 \frac{\text{ккал}}{\text{м}\cdot\text{ч}\cdot^\circ\text{С}}$. 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 $0,06 \frac{\text{ккал}}{\text{м}\cdot\text{ч}\cdot^\circ\text{С}}$. [4].

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) [13]. 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 1.2). Средняя часть – гладкая труба, крайние части – раструбы, приваренные к средней части [4].

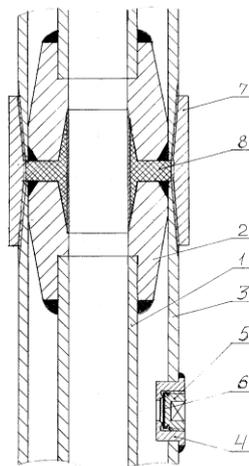


Рисунок 1.2 – Теплоизолированная колонна; 1 – внутренняя труба, 2 – раструб, 3 – наружная труба, 4 – седло, 5 – клапан, 6 – медная прокладка, 7 – муфта, 8 – уплотнительная втулка [4]

По мнению И.Ф. Калачева, Р.Н. Рахманова, Р.М. Шаммасова наружную поверхность теплоизолированной трубы необходимо покрывать коррозионностойким составом, а внутреннюю поверхность тепло- отражающим составом [11]. 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 [13].

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 1.3) [12].

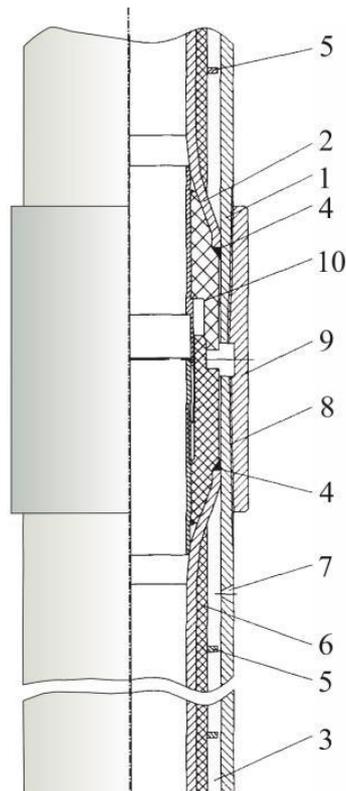


Рисунок 1.3 – Теплоизолированная труба; 1 – наружная труба, 2 – внутренняя труба, 3 – кольцевое пространство между наружной и внутренней трубами, 4 – вакуумно-плотный шов, 5 – центратор, 6 – многослойная теплоизоляция, 7 – отверстие под клапан, 8 – резьба, 9 – муфта, 10 – изолирующая вставка [11]

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 [12].

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 [13].

1.3 Освоение технологии производства труб лифтовых теплоизолированных (ТЛТ)

Синарский трубный завод основан в 1934г. В последующие годы неоднократно подвергался реконструкции с организацией новых производств и коренным усовершенствованием существующих производств [3]. Благоприятные территориально-экономические условия, пересечение важнейших железнодорожных магистралей и близость к нефтегазовым месторождениям Сибири, способствовали тому, что началось строительство «Синарского трубного завода».

Общий объем производства труб составляет около 580 тыс. тонн в год. Основными потребителями производимой заводом продукции являются предприятия нефтегазодобывающей промышленности. Доля труб изготавливаемых для предприятий этой отрасли составляет 90% от общего объема производства. В 2010 г. на заводе началось освоение производства труб лифтовых теплоизолированных (ТЛТ).

Теплоизолированная труба состоит из двух труб, установленных одна внутри другой (рисунок 1.4). Наружная (несущая) труба и внутренняя труба (кожух) соединены методом 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 [3].

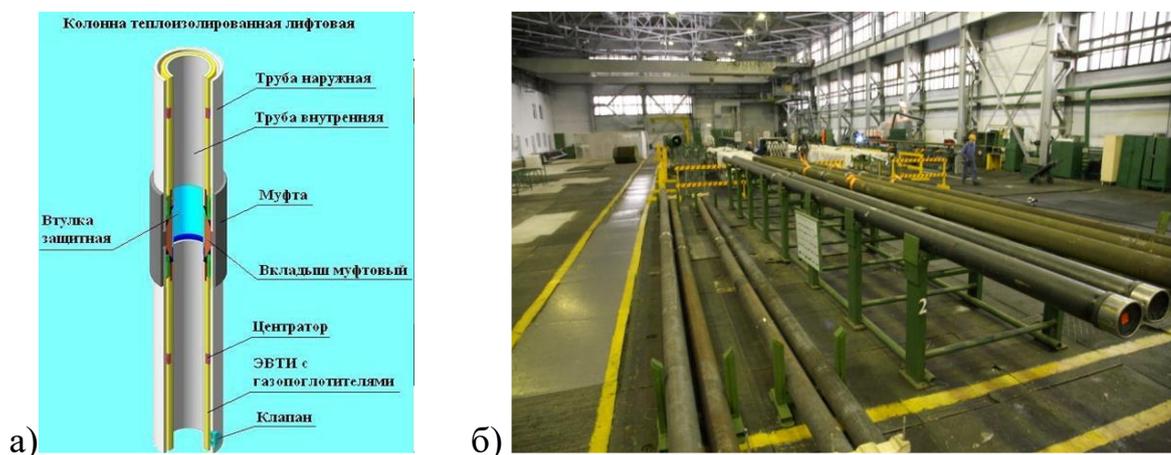


Рисунок 1.4 – Схема строения ТЛТ (а) и цех по их производству (б)

Для сборки теплоизолированной колонны ТЛТ разработано муфтовое соединение с резьбой класса «Премиум» и муфтовым вкладышем из теплоизолирующего материала (Фторопласта 4) [3].

Разработана технология производства ТЛТ, которая включает следующие технологические операции:

- сборка наружной и внутренней трубы;
- соединение наружной трубы с внутренней трубой вакуумно-плотными сварными швами;
- контроль качества сварных соединений;
- вакуумирование ТЛТ на вакуумном посту и контроль герметичности сварных соединений;
- контроль теплопроводности ТЛТ и окончательная отделка ТЛТ.

Особо стоит отметить при производстве данной высокотехнологичной инновационной продукции контроль теплофизических свойств ТЛТ. Данный контроль имеет несколько ступеней и включает в себя контроль теплопроводности непосредственно после вакуумирования, контроль теплопроводности после нарезания резьбы на трубе, контроль теплофизических свойств колонны на скважине непосредственно во время эксплуатации. Дополнительно на заводе с момента выпуска первых труб ТЛТ изготовлен так называемый эталон трубы, который проходит периодический контроль теплофизических свойств [3].

1.4 Стали, применяемые для производства термолифтовых труб и способы их сварки

С развитием нефтяной и газодобывающей отрасли появилась потребность в высокопрочных обсадных, насосно-компрессорных и бурильных трубах с пределом прочности 640-690 МПа. Для этих целей в настоящее время в промышленности применяют стали 30Г2, 35Г2С, 37Г2С, 40Г и др. Достижение данного уровня свойств возможно лишь за счет применения упрочняющей термической обработки. Термическая обработка является важнейшей составляющей в современной технологии производства труб. Ее применяют для достижения определенных эксплуатационных свойств, подготовки структуры для определенных деталей в машиностроении (подшипники), восстановления пластичности, выравнивания структуры и свойств сварных и литых труб, а также труб переменной геометрии по длине. Применение термоупрочненных труб позволяет повысить их механические свойства или снизить массу металла до 30%. Термическое упрочнение горячекатаных труб включает нагрев в аустенитную область, изотермическую выдержку, закалку в воде и последующий высокий отпуск. Температуру нагрева под закалку и отпуск выбирают в зависимости от химического состава сталей и исходя из необходимого уровня механических свойств регламентированного действующими международными и отечественными стандартами [3].

Для сборки термолифтовых труб (ТЛТ) используют трубы, изготовленные из стали 32Г2, имеющей следующий химический состав: С–0,31%; Si–0,277; Mn–1,295; Cr–0,076; Cu–0,2272; Mo–0,022; V–0,0042; Al–0,0302; Ni–0,1134; P–0,0141; S–0,0117 вес.%.

Качество стыковых сварных соединений во многом определяется качеством корневого шва. Для обеспечения надежного провара корневого шва используются следующие виды сварки:

- 1) ручная электродуговая сварка электродами диаметром менее 3 мм (наиболее распространенный способ);
- 2) ручная аргонно-дуговая сварка неплавящимися электродами малого диаметра 0,8–1,2 мм (обеспечивается лучшее качество, чем при ручной электродуговой сварке);
- 3) механизированная сварка плавящим электродом в защитных газах (чаще CO_2) для низкоуглеродистых и низколегированных сталей;
- 4) автоматическая аргонно-дуговая сварка (требуется высокое качество подготовки стыка);
- 5) автоматическая электро-шлаковая сварка;
- 6) комбинированный способ (корень шва — одним из этих способов, а шов — другими способами) [3].

1.5 Концентрированные потоки энергии

В последние 20-30 лет наиболее интенсивно развиваются методы сварки и модификации поверхности материалов с помощью облучения КЭП с плотностью мощности $W=10^3 \div 10^9$ Вт/см² и длительного импульса $\tau \approx 10^{-8} \dots 10^{-5}$ с. Концентрированные потоки энергии или сокращенно (КПЭ) - это методы, применяемые для термического воздействия на материалы, в целях исполнения технологических операций сварки, термической обработки, резки, размерной обработки, напыления, наплавки и т.д. Обработка КПЭ - это воздействие на поверхность заготовки исключительно потока энергии, носителями которого являются частицы: электроны, фотоны, атомы, ионы сконцентрированные в пучки ограниченных поперечных размеров. Нижняя граница плотности мощности энергии принимается 10^3 Вт/см² [14].

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. Эти процессы позволяют формировать в

приповерхностном объеме материала аморфные и нанокристаллические структуры, метастабильные фазы, которые в традиционных технологических процессах невозможно получить. Кардинальные изменения структурно-фазового состояния поверхностных слоев могут обеспечить улучшение механических и физических свойств материала. Поэтому данные методы модификации поверхности металлических материалов являются перспективным направлением современного материаловедения. В качестве источников КЭП нашли широкое применение мощные импульсные лазеры, плазменные, ионные и электронные пучки [14].

1.6 Особенности вакуумной электронно-лучевой сварки

Электронно-лучевая сварка (ЭЛС) относится к методам сварки высококонцентрированными источниками энергии и обладает широкими технологическими возможностями, позволяя соединять за один проход металлы и сплавы толщиной от 0,1 мм до 400 мм. ЭЛС в вакуумных камерах выполняется преимущественно при давлении остаточных газов порядка 10^{-2} Па. Благодаря этому ЭЛС оказалась эффективной для соединения деталей из любых металлических материалов особенно сплавов на основе химически активных металлов, таких как алюминий, титан и тугоплавкие элементы. При этом обеспечиваются максимальная пластичность и вязкость сварных соединений. Наиболее перспективным является соединение деталей из термически упрочненных материалов, когда затруднена или не возможна последующая термообработка. Максимальная пластичность и вязкость сварных соединений, минимальные сварочные деформации позволяют также успешно использовать ЭЛС при изготовлении изделий после завершающей механической обработки [15].

Электронно-лучевые сварочные установки состоят из двух основных комплексов - энергетического и электромеханического.

Энергетический комплекс предназначен для формирования пучка электронов с заданными параметрами, которые определяются толщиной, теплофизическими характеристиками свариваемых материалов и требованиями к коэффициенту формы проплавления.

Электромеханический комплекс предназначен для герметизации и вакуумирования рабочего объема, обеспечения взаимного перемещения электронного луча и свариваемого изделия и управления всеми этими процессами. Этот эффективный способ основан на использовании кинетической энергии электронов, движущихся с большой скоростью в вакууме. Пучок электронов, эмитированный раскаленным катодом, ускоряется в вакууме напряжением (при $U_{\text{уск}}$) до 100 кВ и более. При изменении $U_{\text{уск}}$ от 30 до 200 кВ скорость электронов изменяется от 0,33 до 0,67 скорости света. Кинетическая энергия электронов при торможении внутри металла (анода) вблизи его поверхности превращается в тепловую, расходуемую на плавление свариваемых кромок и образование в жидком металле углубления (канала) на всю толщину свариваемого металла [15].

Этот процесс характеризуется высоким КПД, достигающим 90%. Источник нагрева в виде пучка электронов сосредоточен на малом пятне диаметром в десятые и даже сотые доли миллиметра. При мощности пучка в десятки киловатт плотность энергии в нем превышает плотность энергии электрической сварочной дуги на два–пять порядков (от 10^5 до 10^9 Вт/см²). Такая концентрация энергии, достигаемая при специальной фокусировке пучка в сварочных электронных пушках, делает возможным сварку с недостижимым для электродуговых методов отношением глубины к ширине проплавления. Погонная энергия при ЭЛС не превышает 20% от аналогичного показателя при дуговой сварке. Узкий шов, параллельность его границ и малая протяженность

ЗТВ обуславливают незначительные линейные и угловые деформации свариваемых изделий.

Практически отсутствие коробления является выдающимся критерием электронно-лучевой сварки. Это позволяет применять более простые сборочно-сварочные приспособления, не требует больших усилий зажатия соединяемых деталей, а также последующей механической обработки. Погонная энергия, поперечная усадка и угловые деформации при ЭЛС лежат существенно ниже показателей для лазерной сварки [16].

Глубокое проплавление металла при низких значениях погонной энергии ЭЛС приводит к повышенной скорости кристаллизации малой по объему сварочной ванны, благодаря чему измельчается структура сварного шва. Размеры, конфигурация и качество формирования швов при ЭЛС определяются устойчивостью, формой и размерами парового канала сварочной ванны, которые в свою очередь зависят от мощности, эффективного радиуса, угла сходимости луча, положения фокального пятна луча, пространственного положения стыка, теплофизических свойств металла и скорости сварки.

Сварка электронным лучом имеет ряд весомых преимуществ, среди которых:

- малое количество вводимой теплоты. В большинстве случаев для получения одинаковой глубины проплавления при сварке данного типа потребуется теплоты в 5 раз меньше, чем при дуговом виде, что значительно снижает коробление изделий;
- возможность сварки керамики и тугоплавких металлов (тантала, вольфрама), керамики и т.д. С четкой фокусировкой луча становится возможным нагреть поверхность диаметром менее миллиметра. Это в свою очередь позволяет одновременно приваривать металлы толщиной от десятых долей миллиметра;
- высокое качество сварных соединений химически активных металлов и сплавов: молибдена, титана, ниобия, циркония. Как правило, во

многих случаях происходит дегазация металла шва и одновременно повышение его пластических характеристик. ЭЛС также незаменима при соединении низкоуглеродистых, коррозионно-стойких, медных, никелевых сталей, алюминиевых сплавов. Но несмотря на большее количество достоинств, ЭЛС имеет и минусы.

Недостатки электронно-лучевой сварки:

- время затрата при создании вакуума в рабочей камере после загрузки изделий;
- возможность образования несплавлений, полых отверстий в корне шва при сваривании металлов с большой теплопроводностью, а также швах с большим отношением глубины к ширине [15].

Применение ЭЛС оправдано, когда нужно проводить работы в труднодоступных и неудобных местах. Сварка данной разновидности универсальна и экономична. Универсальность этой сварки выражена тем, что посредством нее соединяют изделия как с любой разделкой кромки, так и без разделки. Экономичность же заключается в сравнительно малом потреблении электричества. Сегодня на отечественных предприятиях применяется электронно-лучевое оборудование с пушками прямого и косвенного накала катодов собственного производства, российских и зарубежных фирм.

В установках с внутрикамерным расположением лучевых пушек есть возможность сварки соединений горизонтальным либо наклонным лучом по сложным траекториям движения. Точная механика в сочетании с компьютерными технологиями и системами управления устраняют зависимость качества итоговых соединений от человеческого фактора, то есть присутствие оператора-сварщика практически исключается, так как процесс происходит почти автоматизировано. Сварочное оборудование несложно в эксплуатации и его обслуживание не подразумевает затрат трудовых ресурсов. Запрограммировав установку, нужно лишь следить за тем, как луч наводится в нужное место и следует вдоль стыка. От рабочего персонала потребуются

только изменять мощность луча и регулировать фокусировку на конкретном отрезке траектории стыка. В целом, электронно-лучевая сварка – это рациональное и перспективное направление в развитии современных технологий сварки [16].

1.7 Постановка задачи

Исходя из литературного обзора, в настоящее время широко исследуются возможности использования КПЭ для сварки и упрочнения рабочих поверхностей деталей механизмов и машин. К КПЭ относятся: электронно-лучевая вакуумная и вневакуумная, лазерная и плазменная сварка, но особое внимание уделяется вакуумной электронно-лучевой сварке. Это связано с тем, что данный способ позволяет сформировать качественное сварное соединение без присадочного материала.

Наиболее широко применяемыми методами добычи тяжелых нефтей и природных битумов являются паротепловые обработки призабойных зон скважин. Процесс паротепловой обработки скважины призабойной зоны заключается в периодической закачке перегретого до 350 °С пара в добывающие скважины для разогрева призабойной зоны пласта и снижения в ней вязкости нефти с последующим извлечением разжиженного сырья.

Важным условием эффективности паротепловых методов является сохранение высокой температуры пара в области его воздействия на пласт. Для этого используют теплоизолированные трубы, которые состоят из коаксиально расположенных труб с экранно-вакуумной изоляцией в межтрубном промежутке.

Условием долговременной работы теплоизолированной вакуумной трубы является не только откачка межтрубного промежутка до высоких значений вакуума, но и сохранения в межтрубном промежутке давления, не

превышающем 10^{-4} мм.рт.ст. в течение всего времени работы теплоизолированной трубы. 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.

Заключительной и самой ответственной операцией в процессе вакуумирования теплоизолированной трубы является герметизация откачного отверстия. Для решения задачи вакуумплотной герметизации откачного отверстия на заключительной стадии процесса откачки перспективным является использование электронного луча для вакуумной сварки трубы с пробкой, помещаемой в откачное отверстие. Причем, деформация трубы в процессе эксплуатации или в процессе приварки защитной крышки поверх пробки никоим образом не будут влиять на герметичность сварного соединения пробки с трубой, и в межтрубном промежутке будет сохраняться вакуум, обеспечивающий высокие теплоизолирующие свойства.

Целью работы является отработка технологии электронно-лучевой сварки (ЭЛС) теплоизолированной лифтовой трубы с пробкой, помещенной в откачное отверстие в одном технологическом режиме «откачка вакуума — сварка».

Для достижения поставленной цели в работе необходимо решить следующие задачи:

- 1) провести электронно-лучевую сварку соединений трубы с пробкой по различным технологическим режимам;
- 2) для дополнительной защиты пробки и проведения термической обработки ранее сформированного сварного соединения, провести на ряде труб аргонодуговую сварку крышечки к телу трубы с использованием присадочного материала - проволоки марки Св-08;
- 3) осуществить анализ микроструктуры всех сварных соединений;

- 4) провести рентгенофазовый анализ основного металла и сварных соединений;
- 5) сделать замер микротвердость (HV) по ГОСТ 9450-76 «Измерение микротвердости вдавливанием алмазных наконечников» на приборе ПМТ-3 сварных соединений;
- 6) на основе полученных данных выбрать наиболее рациональный режим электронно-лучевой сварки трубы с пробкой, провести сварку по предлагаемому режиму, промышленные испытания теплоизолированной лифтовой трубы и внедрить данную технологию в ООО «НПФ Кубаньнефтемаш».

2 Материалы, оборудование и методы исследования

2.1 Материал лифтовых труб, пробки и крышечки

Труба для производства теплоизолированных лифтовых труб длиной 9,5 м, диаметром 114 мм и толщиной стенки 7 мм изготавливается из конструкционной, легированной, качественной, марганцовистой стали 32Г2 (химический состав и механические свойства данной стали представлены в таблицах 2.1 и 2.2). В качестве материала образцов использовались трубные заготовки длиной 150 мм.

Таблица 2.1 - Химический состав в % стали 32Г2 [48]

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	Mo	N	W	Ti	Cu	Ac ₁	Ac ₃	Ar ₁	Ar ₃
0,31-0,39	0,17-0,37	1,40-1,80	<0,040	<0,035	<0,30	<0,30	–	<0,008	–	–	<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 2.2 - Механические свойства стали 32Г2 и стали 20 [48]

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 , в %	Ударная вязкость КСУ ⁺²⁰ Дж/см ²
32Г2	Закалка с отпуском	540	740	14	50	39
20	Нормализация	245	410	25	55	78

Пробка диаметром 20 мм и толщиной 5 мм изготавливалась из стали 20 (химический состав и механические свойства данной стали представлены в таблицах 2.3 и 2.2). Данная сталь применяется для изготовления трубопроводов, кованных деталей ТЭС и АЭС, пароперегревателей, трубных пучков теплообменных аппаратов, коллекторов, корпусов аппаратов и других деталей, работающих от минус 40 до плюс 450 °С под давлением. После

химико-термической обработки - фрикционные диски, поршневые пальцы, кулачковые валики, червяки, шестерни, толкатели и другие детали, к которым предъявляются требования высокой поверхностной твердости и износостойкости при невысокой прочности сердцевины.

Таблица 2.3 - Химический состав в % стали 20 [48]

Марка стали 20	Вид поставки Сортовой прокат - ГОСТ 1050-88, ГОСТ 10702, ТУ 14-1-5033-91. Поковки - ГОСТ 8479-70, ОСТ 108.030.113-87, ГОСТ 2105-75, ТУ 108.11.908-87. Лист - ГОСТ 1577-93, ГОСТ 16523-97, ГОСТ 4041-71, ТУ 108.11.902-87. Трубы - ГОСТ 8731-74, ГОСТ 8733-74, ТУ 14-3Р-55-2001, ТУ 14-3-190-82, ГОСТ 550-75, ТУ 108.790-87, ГОСТ 13663-86. Полоса - ГОСТ 1577-93. Проволока ГОСТ 5663-79. Лента - ГОСТ 2284-79, ГОСТ 10234-77. Трубная заготовка - ТУ 14-1-1529-93, ТУ 14-1-2560-78, ТУ 108.11.653-82.												
	Массовая доля элементов, % , по ГОСТ 1050-88										Температура критических точек, °С		
С	Si	Mn	S	P	Cr	Ni	As	N	Cu	Ac ₁	Ac ₃	Ar ₁	Ar ₃
0,17-0,24	0,17-0,37	0,35-0,65	<0,040	<0,035	<0,25	<0,30	<0,08	<0,008	<0,30	735	850	680	835
По ОСТ 108.030.113-87, ТУ 14-3Р-55-2001, ТУ 14-1-1529-93 и ТУ 14-1-2560-78 содержание серы- не более 0,025%, фосфора - не более 0,030%													
Назначение. После нормализации или без обработки - крюки кранов, стропы, серьги, башмаки, моторные рамы, косынки, муфты ,цилиндры, вкладыши подшипников и другие неотчетственные ненагруженные детали. Детали конструкций с большим объемом сварки.													

Для приварки крышечки с целью дополнительной защиты пробки в процессе эксплуатации труб использовалась аргонодуговая сварка (АДС). В качестве присадочного материала использовалась проволока марки Св-08.

2.2 Оборудование для сварки

Устройство вакуумной электронно-лучевой сварки и режимы сварки. В рамках соглашения о научно-техническом сотрудничестве между ТПУ и ООО «НПФ Кубаньнефтемаш» были проведены исследования электронно-лучевых сварных соединений (таблица 2.3).

Таблица 2.4 - Режимы ЭЛС трубы с пробкой

№ образца	U уск, кВ	I луча, mA	Примечания
1	45	20	
2	45	30	
3	45	40	

4	45	45	
5	60	20	
6	45	40	После ЭЛС проводилась приварка защитной крышечки к трубе АДС
7	45	30	

Сварка проводилась в «НПФ Кубаньнефтемаш» на электронно-лучевом оборудовании фирмы ООО «ТЭТа» (г. Томск). Схема установки представлена на рисунке 2.1, трубы с пробкой — на рисунке 2.2. Сварка велась с разверткой луча по кругу с частотой развертки 0,2 Гц. Линейная скорость перемещения луча (скорость сварки) составила 12,5 мм/с.

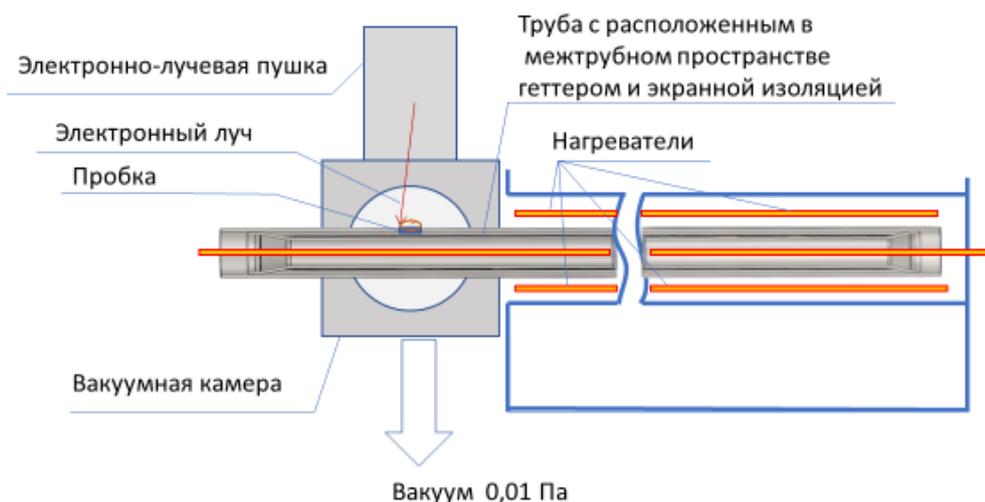
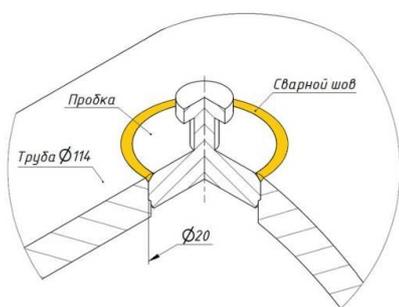


Рисунок 2.1 - Схема установки вакуумирования теплоизолированных лифтовых труб с экранно-вакуумной изоляцией и ЭЛС в одном технологическом процессе



а



б

Рисунок 2.2 - Схема сварного соединения труба – пробка (а) и внешний вид образцов после ЭЛС и резки по диаметру пробки (б)

Аргонодуговая сварка защитной крышечки проводилась по выбранным режимам с использованием в качестве присадочного материала проволоки марки Св-08.

Таблица 2.5 - Режимы аргонодуговой сварки

Диаметр электрода, мм	Сила тока, А	Напряжение, В	Скорость сварки, м/мин
3	140-180	11-14	0,1-0,3

Сила тока. Параметр, настраиваемый непосредственно на сварочном аппарате. Выбирается в зависимости от типа и толщины свариваемого материала, диаметра электрода, полярности сварки, типа защитного газа и пространственного положения сварки. От этого параметра зависит глубина проникновения и ширина шва, но, с другой стороны он влияет на температуру конца вольфрамового электрода. Увеличение значения силы тока повышает глубину проплавления и увеличивает скорость сварки. Высокая сила тока способствует расплавлению электрода, и существует вероятность появления вольфрамовых включений в сварном шве.

Напряжение дуги. Зависит от типа защитного газа, длины дуги, формы сварного шва и материала электрода. Увеличение напряжения повышает ширину поверхности шва и, соответственно, понижает глубину проплавления.

Скорость сварки. При ручной аргонодуговой сварке оптимальная скорость сварки оценивается самим сварщиком. Обычно в пределах 0,1-0,3 м/мин. При неизменной силе тока и напряжения, она влияет на количество энергии передаваемой на изделие. При помощи скорости сварки можно регулировать структурные изменения шва, размер и распределение сварочных напряжений. Скорость сварки влияет на глубину проплавления и ширину шва.

2.3 Анализ структуры сварных соединений

После сварки образцы сварных соединений разрезались по диаметру, как показано на рисунке 2.2б. Далее по плоскости сечения образцы шлифовались и полировались. Окончательная полировка проводилась на пасте ГОИ. 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 представлена исходная микроструктура трубной стали 32Г2. Для обеих сталей характерна феррито-перлитная структура. В стали 32Г2 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. Исходная микротвердость для образцов стали 20 и стали 32Г2 равна 1600 ± 40 и 2000 ± 50 МПа соответственно.

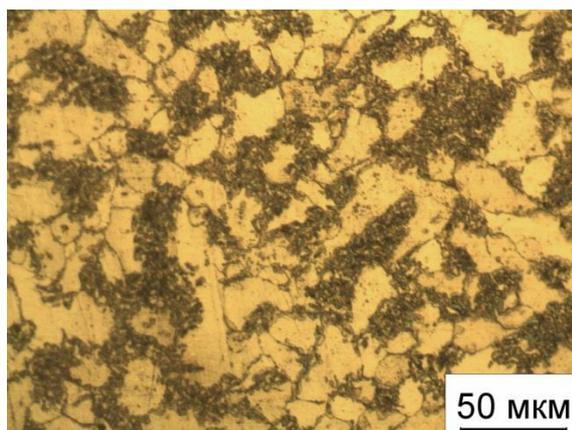


Рисунок 3.1 - Исходная микроструктура стали 32Г2

На рисунке 3.2 представлена макроструктура ряда исследуемых сварных соединений. Видно, что с повышением тока луча от 20 до 40-45 мА происходит полное проплавление сварного соединения (в, г). При токе луча 20 и 30 мА проплавление составляет 1,5 и 4 мм соответственно (а, б). Следовательно, наиболее оптимальным током луча, обеспечивающим полное проплавление сварного соединения, является ток ~ 40 мА.

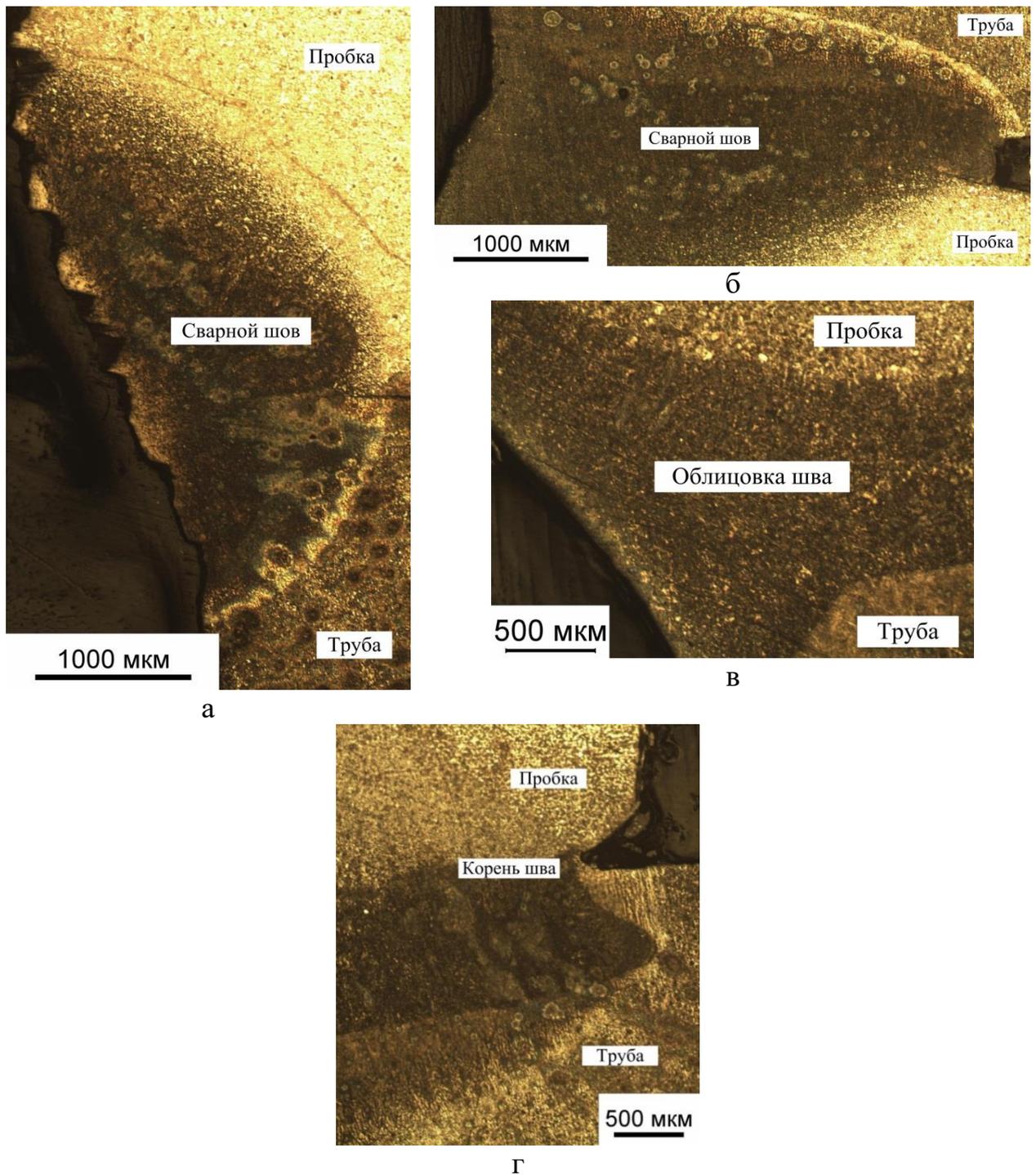


Рисунок 3.2 - Макроструктура сварных соединений полученных при токе луча 20 (а), 30 (б) и 40 mA (в,г)

При анализе металла шва методом оптической металлографии, судя по наличию дисперсной игольчатой структуры, в сварном шве формируется мартенсит, рисунок 3.3а. Это подтверждается данными РФА (рисунок 3.4) и результатами замера микротвердости по толщине сварного шва (рисунок 3.5).

Анализ дифракционных максимумов, относящихся к α -железу вне сварного шва свидетельствует о нормальной их асимметрии ($\alpha_1 + \alpha_2$), рисунок 3.4а. Для корня шва, который в основном формируется в объеме металла трубы (рисунок 3.2г) с повышенным содержанием углерода (0,3...0,35%) наблюдается расщепление дифракционного максимума на две линии, т.е. формируется тетрагональный «дуплет» (110) и (101), рисунок 3.4б.

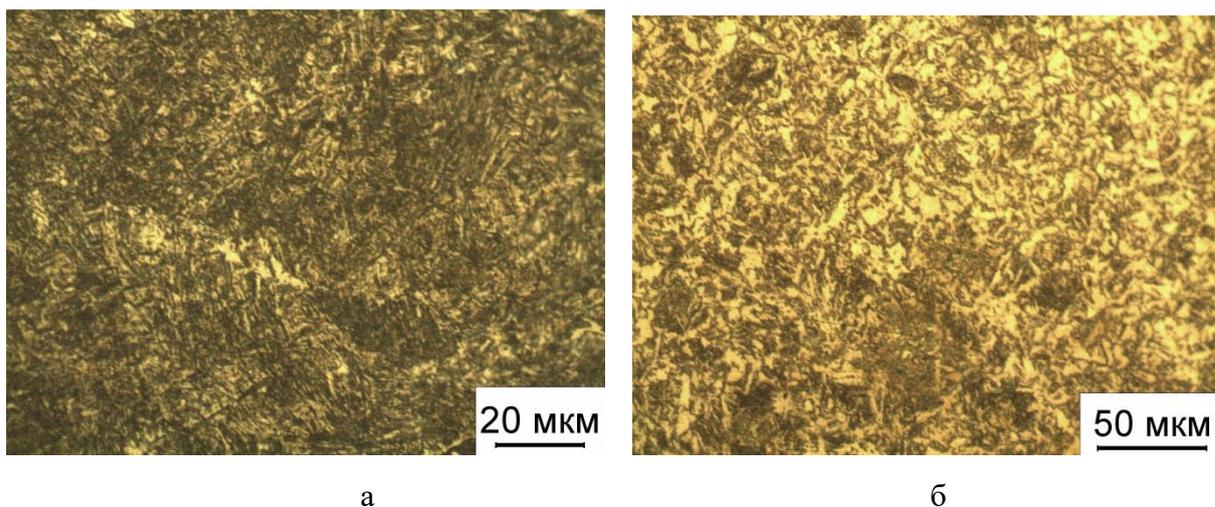


Рисунок 3.3 - Микроструктура металла шва (а) и зоны термического влияния (б)

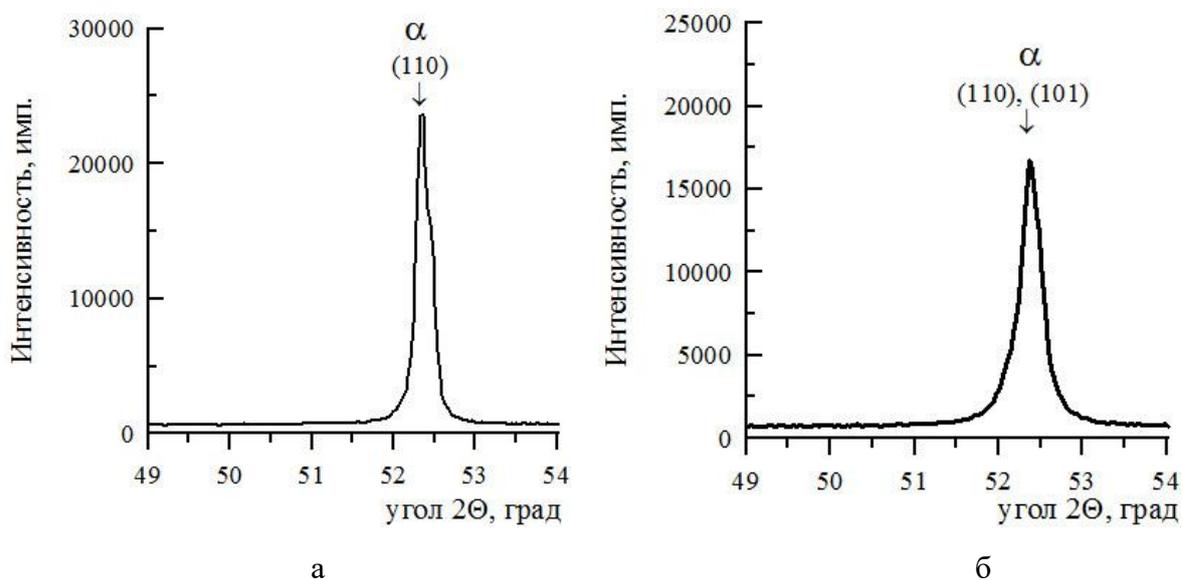


Рисунок 3.4 - Фрагменты дифрактограмм от исходного металла стали 32Г2 (а) и корня сварного шва (б)

Наличие мартенсита в сварном шве приводит к значительному повышению микротвердости (рисунок 3.5а). Это особенно характерно для корня шва (3200 ± 200 МПа), который формируется в металле с повышенным содержанием углерода. В то время как для исходного состояния стали 32Г2 средняя величина твердости составляет 2000 ± 50 МПа. По мере удаления от корня шва к облицовке (рисунок 3.2в,г) твердость падает до уровня ~ 2000 МПа, (рисунок 3.5а), что связано с разбавлением металла шва свариваемой сталью 20, содержащей меньшее количество углерода и, следовательно, меньшей тетрагональностью решетки мартенсита. В зоне термического влияния формируется дисперсная феррито-перлитная смесь, рисунок 3.3б.

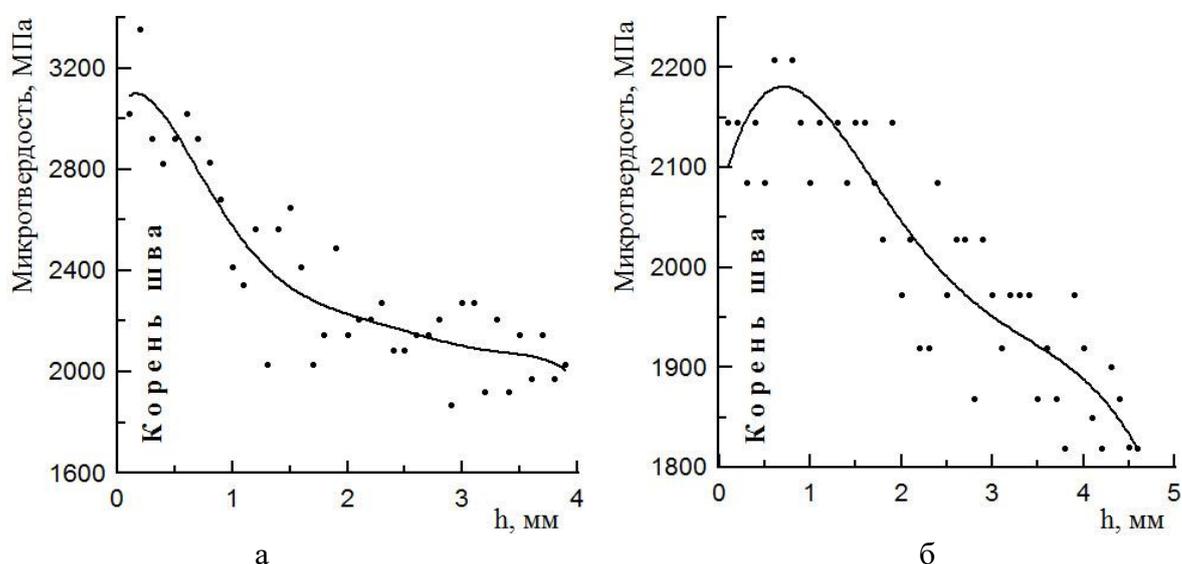


Рисунок 3.5 Изменение микротвердости по толщине сварного шва непосредственно после сварки (а) и его термической обработки (б)

В ходе термического цикла приварки крышечки с целью дополнительной защиты пробки в процессе эксплуатации труб, происходит высокий отпуск ранее сформированного сварного соединения. Это позволяет получить в сварном шве пробки дисперсную феррито-перлитную структуру с уровнем твердости не превышающим 2200 МПа в корне шва, рисунок 3.5б. Далее по толщине сварного шва уровень твердости падает по закону близкому к линейному до ~ 1820 МПа.

Разработанная технология ЭЛС трубы с пробкой внедрена в технологический процесс производства труб с экранно-вакуумной изоляцией (Приложение А).

4 Финансовый менеджмент и ресурсоэффективность

Выпускная квалификационная работа по теме «Исследование влияния параметров вакуумной электронно-лучевой сварки на структуру и свойства сварного соединения пробки откачного отверстия термоизолированной трубы» выполняется в рамках научно-исследовательской работы для организации.

Целью работы является отработка технологии электронно-лучевой сварки (ЭЛС) теплоизолированной лифтовой трубы с пробкой, помещенной в откачное отверстие в одном технологическом режиме «откачка вакуума — сварка».

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 с пробкой

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 с пробкой 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		
		Б _{к1}	Б _{к2}	Б _{к3}	К _{к1}	К _{к2}	К _{к3}
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 трубы с пробкой.

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>
Дополнительные возможности проекта	Получение нового оборудования для ЭЛС.	Снижение цен на технологии, используемые в ЭЛС.
<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>Возможность создания партнерских отношений с предприятиями для совместной работы в области электронно-лучевой сварки</p>	<p>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>
Угрозы проекта	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	Расширение области применения за счет развития новых технологий
<p>У1. Появление новых технологий</p> <p>У2. Несвоевременное финансовое обеспечение проекта</p> <p>У3. Введение дополнительных государственных требований и сертификации проектной разработки</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.

$$B_{\text{сум}} = 48 + 26 = 74 \text{ балла}$$

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 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 преследуется цель внедрения в производство для получения финансирования в продолжение научных исследований и разработок.

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 с пробкой, помещенной в откачное отверстие, в одном технологическом режиме откачка вакуума – сварка.

Результат проекта:

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. Данный способ сварки позволил полностью исключить брак (10%) связанный с нарушением герметичности в месте уплотнения откачного отверстия 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 откачного

	отверстия 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 откатного отверстия 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 с пробкой, помещенной в откатное отверстие, в одном технологическом режиме откачка вакуума – сварка с последующей приваркой крышечки для дополнительной защиты пробки 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 с пробкой	Руководитель проекта
Выбор документов для проектирования	2	Сбор базовой информации	Инженер
	3	Календарное планирование работ	Руководитель проекта
Теоретические и экспериментальные исследование	4	Проведение электронно-лучевой сварки соединений трубы с пробкой по различным технологическим режимам	Инженер
	5	Проведение на ряде труб аргонодуговой сварки крышечки к телу трубы с использованием присадочного материала - проволоки марки Св-08	
	6	Замер микротвердости (HV) по ГОСТ 9450-76 «Измерение микротвердости вдавливанием алмазных наконечников» на приборе ПМТ-3 сварных соединений	
	7	Анализ микроструктуры всех сварных соединений	Руководитель проекта
	8	Рентгенофазовый анализ основного металла и сварных соединений	
	Оценка и обобщение результатов	9	Оценка эффективности полученных результатов
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	14	Составление эксплуатационно-технической документации	Инженер
	15	Составление спецификации оборудования и	

разработки		материалов, других средств	
------------	--	----------------------------	--

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

4.2.2 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.

4.2.3 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 2019 году;

$T_{\text{вых}}$ – количество выходных дней в 2019 году;

$T_{\text{пр}}$ – количество праздничных дней в 2019 году.

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

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

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

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 T_{pi}		Длительность работ в календарных днях T_{ki}	
	t_{\min} , чел/дни		t_{\max} , чел/дни		тожд, чел/дни		Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер
	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер				
Составление и утверждение проектного технического задания по электронно-лучевой сварки соединений трубы с пробкой	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 с пробкой 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

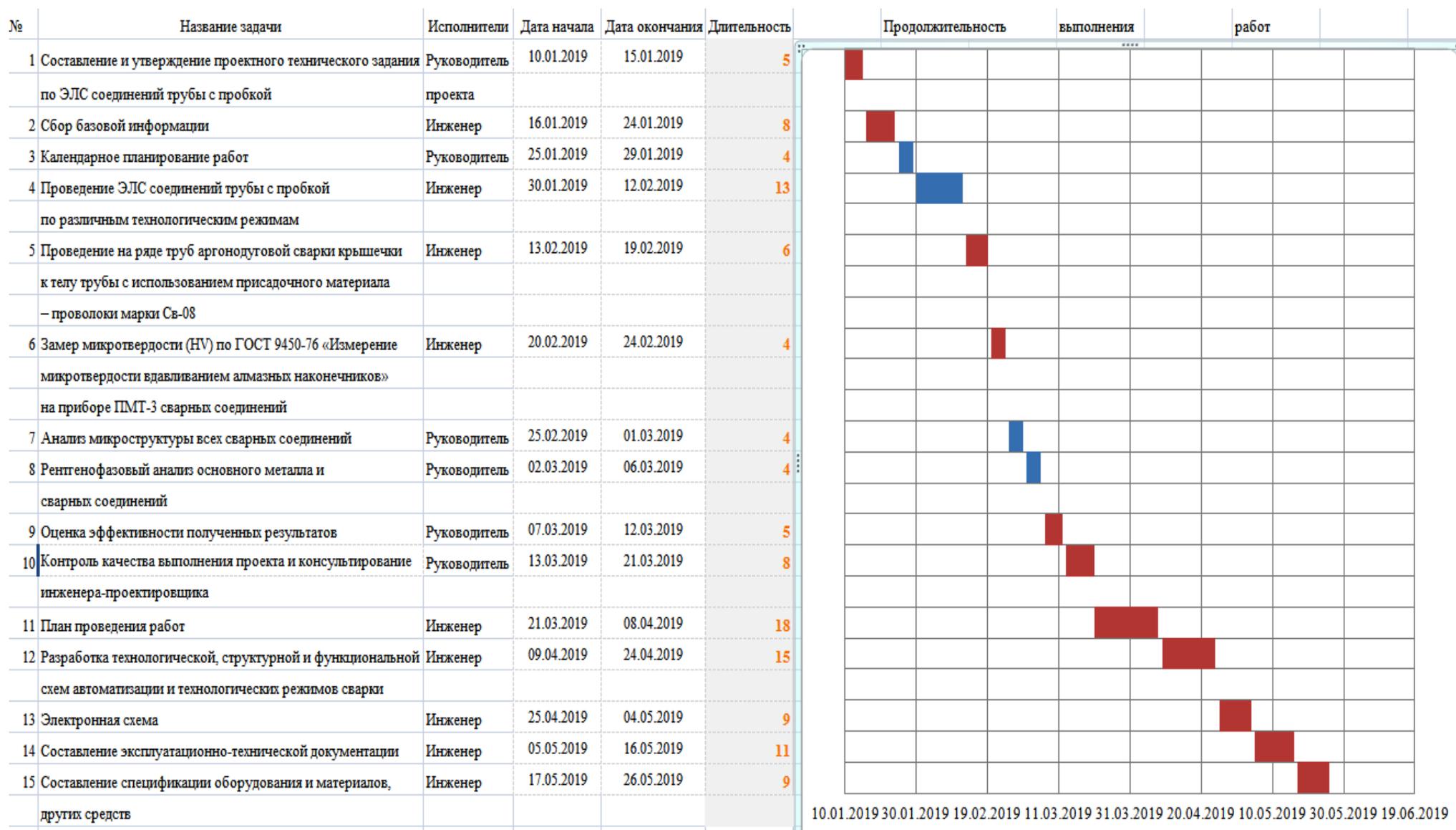
ПМТ-3 сварных соединений										
Анализ микроструктуры всех сварных соединений	2		5		3		3		4	
Рентгенофазовый анализ основного металла и сварных соединений	2		5		3		3		4	

Продолжение таблицы 4.13

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 с пробкой



■ - 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 с пробкой 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.

4.3 Обоснование необходимых инвестиций для разработки и внедрения ИР

4.3.1 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.

4.3.2 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

Наименование	Ед. измерения	Количество	Цена за ед., руб.	Затраты на материалы (Зм), руб
Бумага для принтера А4 (500 листов)	пачка	1	235	320
Картридж для принтера	шт.	1	2800	2800
Ручка	шт.	4	25	100
Блокнот	шт.	2	50	100
Простой карандаш	шт.	4	15	60
Теплоизолированная лифтовая труба	кг	50	16	800
Металл (листовой прокат)	кг	10	52,3	523
Итого, руб.		-	-	4703

В общей сумме материальные затраты составили 4703 рублей.

4.3.3 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:

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

где

$T_{\text{р}}$ – продолжительность работ, выполняемых исполнителем проекта, раб.дн.;

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

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_{\text{м}} \cdot M}{F_{\text{д}}} \quad (8)$$

где

$Z_{\text{м}}$ – 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;

$F_{\text{д}}$ – действительный годовой фонд рабочего времени исполнителей проекта, раб. дн.

Месячный должностной оклад работника рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{м}} = Z_{\text{ТС}}(1 + k_{\text{пр}} + k_{\text{д}})k_{\text{р}} \quad (9)$$

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.

4.3.4 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.

4.3.5 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

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: $1500 \text{ Вт} * 4,04 = 6060 \text{ руб.}$

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.

4.3.6 Формирование бюджета затрат на проектирование

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

Таблица 4.19 - Бюджет затрат на проект технологической разработки электронно-лучевой сварки теплоизолированной лифтовой трубы с пробкой

Наименование статьи	Сумма, руб.	К итогу, в %
1. Материальные затраты проекта	4703,00	1,82
2. Затраты по основной заработной плате	127521,23	49,25
3. Затраты по дополнительной заработной плате	19128,18	7,39
4. Отчисления во внебюджетные фонды	43994,82	16,99
5. Накладные расходы	63560,00	24,55
Итого Бюджет затрат проекта	258907,23	100,00

Бюджет общих затрат (таблице 4.19) проекта технологической разработки электронно-лучевой сварки теплоизолированной лифтовой трубы с пробкой составил 258907,23 руб.

Наибольший процент затрат Бюджета приходится на основную заработную плату (49,25%), наименьший на материальные затраты (1,82%).

4.4 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 – бальная 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 \ ПО	Весовой коэффициент параметра	Разработка Электронно-лучевая сварка, $I p1$	Лазерная сварка, $I p2$	Дуговая микро-сварка, $I p3$
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

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

$$I_{p1} = 5 * 0,1 + 4 * 0,15 + 5 * 0,15 + 4 * 0,20 + 4 * 0,25 + 4 * 0,15 = 4,25.$$

$$I_{p2} = 4 * 0,1 + 3 * 0,15 + 4 * 0,15 + 4 * 0,20 + 4 * 0,25 + 4 * 0,15 = 3,85.$$

$$I_{p3} = 3 * 0,1 + 3 * 0,15 + 3 * 0,15 + 3 * 0,20 + 4 * 0,25 + 3 * 0,15 = 3,10.$$

Интегральный показатель эффективности разработки ($I_{рфинр}$) и аналога ($I_{афинр}$) определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{рфинр}^p = \frac{I_m^p}{I_{\phi}^p}, I_{афинр}^a = \frac{I_m^a}{I_{\phi}^a} \quad (14)$$

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;

$I_{рфинр}^p$ – интегральный показатель разработки;

$I_{афинр}^a$ – интегральный технико-экономический показатель аналога.

Таблица 4.21 - Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Разработка Электронно- лучевая сварка, I_{p1}	Лазерная сварка, I_{p2}	Дуговая микро- сварка, I_{p3}
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

$$I_{рфинр1}^p = \frac{4,25}{0,86} = 4,94;$$

$$I_{рфинр2}^p = \frac{3,85}{0,87} = 4,43;$$

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

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

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

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

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 с пробкой;

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 с пробкой 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 с пробкой составил 258907,23 руб.;

б) 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 с пробкой экономически целесообразны и будут востребованы в сфере производства.

5 Социальная ответственность

Объект исследования: Отработка и подбор режимов свариваемости пробки откачного отверстия термоизолированной трубы вакуумной электронно-лучевой сваркой.

Все работы производились в офисных и лабораторных помещениях на объекте АО «НПЦ Полюс» 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.

5.1 Анализ вредных и опасных факторов на рабочем месте

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 [34].

5.1.1 Производственный шум

Нормативным эквивалентным уровнем звука на рабочих местах является 80 дБА [40].

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.

При работе в офисном помещении мерами для защиты от шума извне могут служить современные пластиковые окна и шумоизоляционные панели стен. Шум от работы ПК можно понизить, используя малошумные вентиляторы охлаждения на подшипниках, либо водяное охлаждение системного блока.

При работе в сварочной лаборатории средствами индивидуальной защиты от шума являются ушные вкладыши и наушники. Эффективность

индивидуальных средств защиты зависит от используемых материалов, конструкции, силы прижатия, правильности ношения. Ушные вкладыши вставляют в слуховой канал уха. Их изготавливают из легкого каучука, эластичных пластмасс, резины, эбонита и ультратонкого волокна. Они позволяют снизить уровень звукового давления на 10...15 дБ. В условиях повышенного шума рекомендуется применять наушники, которые обеспечивают надежную защиту органов слуха. Так, наушники ВЦНИОТ снижают уровень звукового давления на 7...38 дБ в диапазоне частот 125...8000 Гц [40].

5.1.2 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) [44].

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 кал/см²*мин. Источниками тепловой радиация являются дуга и в меньшей степени нагретый металл.

Для защиты от излучения используются сварочные маски и щитки конструкция масок должна соответствовать ГОСТ 12.4.035-78 и ТУ 3441-003-07515055-97 [43]. Светофильтры для помещений принимаются марки С4.

5.1.3 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 31 согласно ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ. Общие санитарно - гигиенические требования к воздуху рабочей зоны [35].

Таблица 5.2 - Предельно допустимые концентрации вредных веществ, которые выделяются в воздухе при сварке металлов

Название	Вещество ПДК в воздухе рабочей зоны, мг/м ³
Твердая составляющая сварочного аэрозоля	
Марганец (при его содержании в сварочном аэрозоле до 20%)	0,2
Железа оксид	6,0
Кремний диоксид	1,0
Хром (III) оксид	1,0
Хром (VI) оксид	0,01
Газовая составляющая сварочного аэрозоля	
Азот диоксид	2,0
Марганец оксид	0,3
Озон	0,1
Углерода оксид	20,0
Фтористый водород	0,5/1,0

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 [35].

5.1.4 Ожоги при сварочных работах

Образующиеся при дуговой сварке расплавленный металл имеет температуру до **1800 °C**, в случае попадания на кожу искр, шлака и брызг раскаленного металла возможны тяжелые ожоги.

Для предотвращения ожогов при сварке, попадания искр и капель расплавленного металла, необходимо применять спец одежду: специальный костюм сварщика или брезентовый костюм, имеющий соответствующую маркировку «Тр»; рукавицы брезентовые или кожаные типа «Е» с защитными свойствами «Тр»; кожаные ботинки с маркировкой «Тр»; защитные очки, маски; предохранительный пояс [43].

Излучение электрической дуги вызывает ослепление глаз и может привести к ожогу сетчатки глаз, т.е. их воспалению. Однако излучение может также привести к ожогам кожи и явлениям, схожим с солнечным ожогом. Учитывая это, сварщик обязан защитить себя соответствующей защитной одеждой и щитком с соответствующими защитными фильтрами по стандартам EN 166 и EN 169. В качестве защитного фильтра следует использовать фильтры ступеней от 9 (для тонких электродов и низкой силы тока) до 14 (для толстых электродов и высокой силы тока).

5.2 Защита от поражения электрическим током

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

5.2.1 Электробезопасность. Расчет защитного заземления

В качестве заземлителей применяем уголок сечением $60 \times 60 \text{ мм}^2$ верхние контуры заземлителей соединены между собой с помощью полосовой стали. Полосовую сталь применяем сечением $5 \times 12 \text{ мм}^2$.

Для того чтобы уменьшить колебание удельного сопротивления грунта заземлители забивают в землю так, чтобы их верх находился на расстоянии $h_{п} = 0,8 \text{ м}$ от уровня поверхности земли, тем самым достигается более влажные и непромерзающие слои грунта (рисунок 6.1).

Оборудование работает под напряжением 380 В определяем, что по нормам для нашего случая допустимое сопротивление заземлителей r_z должно быть не более 4 Ом , удельное сопротивление грунта (суглинок) составляет $\rho_z = 1 \cdot 10^4 \text{ Ом} \cdot \text{см}$.

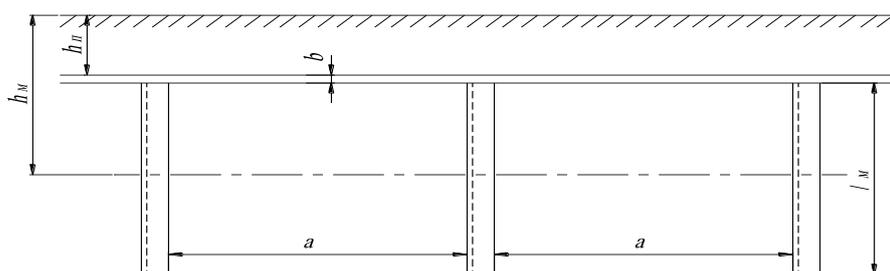


Рисунок 5.2 Схема устройства искусственного заземления

Учитывая возможное промерзание грунта зимой и просыхания летом, определяем расчетные значения удельного сопротивления грунта для полосы ρ_n и для электродов ρ_z по формулам [41]:

$$\rho_n = \rho K_n \quad (16)$$

$$\rho_3 = \rho K_3 \quad (17)$$

где K_n и K_3 – повышающие коэффициенты для соответствующей климатической зоны.

Для города Томска $K_n = 1,9$ и $K_3 = 4,5$.

$$\rho_n = 1 \cdot 1,9 \cdot 10^4 = 1,9 \cdot 10^4 \text{ Ом} \cdot \text{см}$$

$$\rho_3 = 1 \cdot 4,5 \cdot 10^4 = 4,5 \cdot 10^4 \text{ Ом} \cdot \text{см}$$

Сопротивление одного электрода определяем по формуле [15]:

$$R_3 = \frac{\rho_3}{2\pi l_M} \left(\ln \frac{2l_M}{d} + 0,5 \ln \frac{4h_M + l_M}{4h_M - l_M} \right) \quad (18)$$

где

l_M – длина электрода, см; $l_M = 300$ см;

d – диаметр электрода, см;

h_M – глубина заложения электрода, см; $h_M = 230$ см.

При использовании электрода из уголковой стали диаметр электрода определяют по формуле [41]:

$$d = 0,95\sqrt{v} \quad (19)$$

где

v – ширина полки уголка, см;

$$d = 0,95\sqrt{v} = 5,7 \text{ см}^2,$$

$$R_3 = \frac{1,9 \cdot 10^4}{2 \cdot 3,14 \cdot 300} \left(\ln \frac{2 \cdot 300}{5,7} + 0,5 \ln \frac{4 \cdot 230 + 300}{4 \cdot 230 - 300} \right) = 50,35 \text{ Ом}$$

Потребное число заземлителей определяем по формуле:

$$n = \frac{R_3}{r_3} \quad (20)$$

$$n = \frac{50,35}{4} = 12,58 \text{ шт}$$

принимаем $n=12$ шт.

При расположении электродов в ряд длина соединительной полосы определяется по формуле [41]:

$$l_n = a \cdot n \quad (21)$$

где

a – расстояние между электродами, см; $a = 900$ см.

$$l_n = 900 \cdot 12 = 10800 \text{ см}$$

Сопротивление соединительной полосы вычисляют по формуле:

$$R_n = \frac{\rho_n}{2\pi l_n} \ln \frac{2l_n^2}{h_n \cdot b} \quad (21)$$

$$R_n = \frac{4,5 \cdot 10^4}{2 \cdot 3,14 \cdot 10800} \ln \frac{2 \cdot 10800^2}{80 \cdot 1,2} = 9,75 \text{ Ом}$$

Результирующее сопротивление системы заземления вычисляют по формуле:

$$R_c = \frac{R_3 \cdot R_n}{R_3 \cdot \eta_n + R_n \cdot \eta_3} \quad (22)$$

где

η_n – коэффициент использования полосы; $\eta_n = 0,76$;

η_3 – коэффициент использования электродов; $\eta_3 = 0,81$.

$$R_c = \frac{50,35 \cdot 9,75}{50,35 \cdot 0,76 + 9,75 \cdot 0,81 \cdot 12} = 3,62 \text{ Ом}$$

Таким образом, общее сопротивление защитного заземления не превышает допустимого по нормам [37].

5.2.3 Пожаровзрывоопасность

В ходе работ по разработке технологии свариваемости материалов, в результате пренебрежения правилами пожарной безопасности может произойти возгорание строительных материалов, ветоши и других материалов. Для успешного проведения противопожарной профилактики важно знать основные причины пожаров. На основе статистических данных можно сделать вывод, что основными причинами пожаров являются:

- неосторожное обращение с огнем;
- неудовлетворительное состояние электротехнических устройств и нарушения, правил их монтажа и эксплуатации;
- нарушение режимов технологических процессов;

- неисправность отопительных приборов столько нарушение правил их;
- невыполнение требований нормативных документов по вопросам пожарной безопасности [37, 46]

5.3 Экологическая безопасность

5.3.1 Анализ влияния процесса исследования на окружающую среду

Во всех офисных и лабораторных помещениях АО «НПЦ Полюс» для освещения применяются люминесцентные лампы, которые представляют угрозу окружающей среде и должны быть правильно утилизированы [44].

5.3.2 Мероприятия по защите окружающей среды

Хранение люминесцентных ламп должно осуществляться в помещении, которое отдельно расположено от мастерских и лабораторий корпуса. Оно должно соответствовать требованиям правил хранения токсичных отходов и санитарных норм. В нем должна быть налажена система вентиляции.

Полы в помещении должны быть изготовлены из водонепроницаемого материала, который препятствует попаданию вредного металла в окружающую среду. На случай аварийной ситуации в помещении для хранения ламп дневного света должно быть не менее 10 литров воды и запас марганцевого калия.

Отработанные люминесцентные светильники должны быть помещены в плотную тару. В роли ее могут выступать картонные коробки, коробки из ДСП, фанеры, бумажные или полиэтиленовые мешки. В одной картонной коробке должно быть не более 30 единиц продукции. Емкости должны быть расставлены на стеллажах, чтобы обезопасить их от любого механического воздействия. На каждой из них должна быть надпись «Отход 1 кл. опасности. Отработанные люминесцентные лампы» [45].

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

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. По пожарной опасности наружные установки подразделяются на категории A_n , B_n , B_n , Γ_n и D_n .

Согласно НПБ 105-03 сварочная лаборатория относится к категории «А» - повышенная взрывопожароопасность.

Сварочная лаборатория, рассматриваемая в данной работе, относится к категории «А»- повышенная взрывопожароопасность.

Таблица 5.3 – Категория помещения по уровню пожаровзрывоопасности

Категория помещения	Характеристика веществ и материалов, находящихся (обращающихся) в помещении
А повышенная взрывопожаро- опасность	Горючие газы, легковоспламеняющиеся жидкости с температурой вспышки не более 28 °С в таком количестве, что могут образовывать взрывоопасные парогазовоздушные смеси, при воспламенении которых развивается расчетное избыточное давление взрыва в помещении, превышающее 5 кПа, и (или) вещества и материалы, способные взрываться и гореть при взаимодействии с водой, кислородом воздуха или друг с другом, в таком количестве, что расчетное избыточное давление взрыва в помещении превышает 5 кПа

При возникновении пожароопасной ситуации или пожара персонал должен немедленно принять необходимые меры для его ликвидации, одновременно оповестить о пожаре администрацию. Помещения с электрооборудованием должны быть оснащены огнетушителями типа ОУ-2 или ОУБ-3. На стене рядом с местом расположения огнетушителя должна находиться таблица с номерами телефонов экстренного вызова местной и городской пожарной команды.

В качестве дополнительных мер по предотвращению пожаров предлагается использовать автоматизированные системы оповещения и пожаротушения.

5.4.1 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Производство находится в городе Томске с континентально-циклоническим климатом. Природные явления (землетрясения, наводнения, засухи, ураганы и т. д.), в данном городе отсутствуют.

Возможными ЧС на объекте в данном случае, могут быть сильные морозы и диверсия.

Для Сибири в зимнее время года характерны морозы. Достижение критически низких температур приведет к авариям систем теплоснабжения и жизнеобеспечения, приостановке работы, обморожениям и даже жертвам среди населения. В случае переморозки труб должны быть предусмотрены запасные обогреватели. Их количества и мощности должно хватать для того, чтобы работа на производстве не прекратилась.

Чрезвычайные ситуации, возникающие в результате диверсий, возникают все чаще. Зачастую такие угрозы оказываются ложными. Но случаются взрывы и в действительности. В этом случае действия персонала, должны быть определены следующими мерами защиты [37]:

- обнаружение поражающих факторов;
- оповещение персонала об опасности;
- защиту оборудования от воздействия поражающих факторов;
- эвакуацию персонала и материальных ценностей из зон опасности;
- использование средства коллективной защиты персоналом;
- использование персоналом средств индивидуальной защиты (СЗОД, СЗК, МСЗ).

Выводы из анализа по данному этапу:

- используются кнопки аварийного оповещения персонала;
- для защиты оборудования производится останов и обесточивание;
- для защиты персонала необходимо: установить систему сигнализации с выводом в диспетчерскую; установить систему оповещения персонала (по радио) и т.д.;
- персонал должен быть обеспечен СИЗ (противогазы);
- помещения должны быть оборудованы планом эвакуации с указателями направления аварийных выходов и расположением средств пожаротушения.

Из выше проведенного анализа следует, что помещения инженера соответствует нормам ГО и ЧС. Оборудовано в полной мере средствами индивидуальной и коллективной защиты. В качестве дополнительной защиты производить систематический инструктаж с проверкой знаний по технике безопасности, предупреждения и действия персонала при чрезвычайных ситуациях, с записью в журналах инструктажа.

5.5 Социальная защита пострадавших на производстве

Принципы возмещения причиненного вреда. Понятие вины работодателя. Социальное страхование. Виды обеспечения по страхованию. Пособие по временной нетрудоспособности. Единовременные и ежемесячные выплаты. Установление вины застрахованного [45].

5.5.1 Общие принципы возмещения причиненного вреда

Если вред причинен источником повышенной опасности, работодатель обязан возместить его в полном объеме, если не докажет, что вред возник вследствие непреодолимой силы либо умысла потерпевшего, т.е. работодатель

в этих случаях отвечает и при отсутствии своей вины, например, если вред причинен случайно.

Если вред причинен не источником повышенной опасности, работодатель несет ответственность лишь при наличии своей вины и освобождается от ответственности, если докажет, что вред причинен не по его вине.

Понятие вины работодателя понимается в широком смысле, как не обеспечение работодателем здоровых и безопасных условий труда.

Полагающиеся пострадавшему денежные суммы в возмещение вреда, компенсации дополнительных расходов и единовременное пособие могут быть увеличены по согласованию сторон или на основании коллективного договора.

Заявление о возмещении вреда подается работодателю (администрации предприятия).

Работодатель рассматривает заявление о возмещении вреда и принимает соответствующее решение в десятидневный срок. Решение оформляется приказом (распоряжением, постановлением) администрации предприятия.

При несогласии заинтересованного гражданина с решением работодателя или при неполучении ответа в установленный срок спор рассматривается судом.

5.5.2 Социальное страхование

Страховщик – Фонд социального страхования РФ.

Страхователь – Юридические лица любой организационно-правовой формы (в том числе иностранные организации, осуществляющие свою деятельность на территории РФ и нанимающие граждан РФ) либо физические лица, нанимающие лиц, подлежащих обязательному социальному страхованию.

Федеральным законом от 24 июля 1998 года № 125-ФЗ "Об обязательном социальном страховании от несчастных случаев на производстве

и профессиональных заболеваний" произведена замена должника в обязательствах по возмещению вреда, причиненного работнику при исполнении им трудовых обязанностей [45].

Сам пострадавший или лица, имеющие право на получение возмещения, должны предъявлять соответствующие требования не к работодателю, а к органам Фонда социального страхования РФ.

Если гражданин выполняет работу по гражданско-правовому договору, условия которого не предусматривают обязанность уплаты работодателем страховых взносов, то возмещение работнику утраченного заработка, в части оплаты труда, осуществляется причинителем вреда.

Возмещение застрахованным лицам морального вреда, причиненного, в связи с несчастным случаем на производстве или профессиональным заболеванием, осуществляется причинителем вреда.

5.5.3 Виды обеспечения по страхованию

- Пособие по временной нетрудоспособности;
- Единовременные страховые выплаты;
- Ежемесячные страховые выплаты;
- Лечение застрахованного, осуществляемое на территории РФ;
- Приобретение лекарственных препаратов;
- Уход за застрахованным, в том числе осуществляемый членами его семьи;
- Проезд застрахованного и сопровождающего его лица для получения отдельных видов медицинской и социальной реабилитации;
 - Медицинская реабилитация;
 - Изготовление и ремонт протезов;
 - Обеспечение транспортными средствами при наличии соответствующих медицинских показаний;

– Профессиональное обучение и получение дополнительного профессионального образования.

5.5.4 Пособие по временной нетрудоспособности

Пособие по временной нетрудоспособности в связи с несчастным случаем на производстве или профессиональным заболеванием подлежит выплате застрахованному работнику за весь период временной нетрудоспособности до его выздоровления или установления стойкой утраты трудоспособности, в размере 100 % среднего заработка, исчисленного в соответствии с действующим законодательством РФ о пособиях по временной нетрудоспособности.

5.5.5 Единовременные и ежемесячные выплаты

Размер единовременной страховой выплаты определяется в соответствии со степенью утраты застрахованным профессиональной трудоспособности исходя из максимальной суммы, установленной федеральным законом о бюджете Фонда социального страхования Российской Федерации на очередной финансовый год.

Ежемесячные страховые выплаты подлежат выплате застрахованному работнику на протяжении всего периода стойкой утраты им профессиональной трудоспособности.

Если при расследовании страхового случая комиссией по расследованию страхового случая установлено, что грубая неосторожность застрахованного содействовала возникновению или увеличению вреда, причиненного его здоровью, размер ежемесячных страховых выплат уменьшается соответственно степени вины застрахованного, но не более чем на 25 процентов. Степень вины застрахованного устанавливается комиссией по расследованию страхового

случая в процентах и указывается в акте о несчастном случае на производстве или в акте о профессиональном заболевании.

При определении степени вины застрахованного рассматривается заключение профсоюзного комитета [47].

Заключение

1. 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).

2. Показано, что в ходе термического цикла приварки крышечки с целью дополнительной защиты пробки в процессе эксплуатации труб, происходит высокий отпуск ранее сформированного сварного соединения. Это позволило получить в корне шва дисперсную феррито-перлитную структуру с уровнем твердости не превышающим 2200 МПа.

3. Оработана 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 неразъёмного соединения.

4. Разработанная технология ЭЛС трубы с пробкой внедрена в технологический процесс производства труб с экранно-вакуумной изоляцией на предприятие ООО «НПФ Кубаньнефтемаш» (см. акт внедрения, приложение 1).

5. Предприятие-заказчик ООО «НПФ Кубаньнефтемаш» внедрило новую технологию, которая позволила сократить количество брака при изготовлении готовой продукции на 10%.

6. 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 с пробкой.

7. 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.

8. 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.

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

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

11. 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.

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

13. 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 публикаций студента

1. Гнюсов С.Ф., Федин Е.А., Дураков В.Г., Коршунов В.Н. «Электронно-лучевая сварка в производстве теплоизолированных лифтовых труб с экранно-вакуумной изоляцией» Тяжелое машиностроение. 2018. №6. ISSN 1024-7106.

Приложение А
(справочное)

Раздел (1)
The use of vacuum insulated tubing (VIT) in the oil and gas industry

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1ВМ71	Федин Евгений Александрович		

Консультант – лингвист отделения электронной инженерии ИШНКБ:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Смирнова У.А.			

A. Literature review

A.1 The use of vacuum insulated tubing (VIT) in the oil and gas industry

A.1.1 The use of VIT to prevent thawing of permafrost around the wellbore

The industrial thermal insulation technologies such as "thermalcase" were developed in the XX century and continue to develop. The first heat-insulated (cryogenic) pipelines with screen-vacuum insulation were created to refuel space rockets on launch complexes: they supplied cryogenic fuel and oxidizer — liquid hydrogen and oxygen — to tanks. Technologies of screen-vacuum thermal insulation are used in various industries, including the oil and gas industry for the production of vacuum insulated tubing (VIT). The experience of long-term exploitation of gas wells in the Far North, the Tyumen Region and the Krasnoyarsk showed that gas production is often accompanied by wellhead collapse, loss of stability of the top part of the lining with skewed gushing fittings, collapse of columns and other complications caused by the melting of high icy rocks around the wellbore. Measures to eliminate complications (periodical backfilling of soil in the wellhead funnels, installation of tripwires and workover of the well) has got a high operating cost and can't exclude the recurrence of these negative consequences in the future. In that connection, it is necessary to increase the distance between wells and clusters because of the thawing of the soil, which is extremely undesirable by the cluster method of extraction. One of the methods of the reliable protection against the thawing of permafrost around the wellbore during the exploitation is use VIT with screen-vacuum insulation as the top section of the production string [2].

Specialists of the *Gazprom VNIIGAZ LLC* conducted monitoring of wells with VIT located in the permafrost area. Experimental wells with VIT were equipped with thermometric tubes which were down along the external wall of the casing string by 60 m. The air temperature was measured in these tubes during the annealing wells. According to the measurement results, the thermophysical characteristics of wells were calculated. The calculation showed that the heat-transfer coefficient (HTC)

should not be greater than $0,1 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ (taking into account temperatures at wellheads of $28\text{--}30 \text{ }^\circ\text{C}$) to preserve near-wellbore rocks. This corresponds to the heat-transfer coefficient of VIT less $0,012 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$. Subsequently, this value of the HTC was included in the *STO Gazprom 2-3.2-174-2007* which regulates technical requirements for VIT. These VIT heat-transfer coefficients obtained during field tests correspond to forming thawing halos around wells with the radius of $3\text{--}6 \text{ m}$ (depending on the lithological composition and permafrost salinity). In cases of exploitation of non-insulated wells, the predicted radius of the halo $9\text{--}12 \text{ m}$. The use of VIT at the Bovanenkovo oil and gas condensate field (at the TP1–6 horizons) makes it possible to reduce the thawing radius by 2 times [2].

Gazprom made a comprehensive decision for the thermal stabilization of the permafrost areas of producing wells of the *Bovanenkovo field* based on the results above. This decision involves the use of VIT and vapor-liquid cooling systems.

In 2001, an industrial experiment was implemented at the cluster site № 64 of the *Bovanenkovo field*. During the experiment gas was produced from the well № 6401 equipped with VIT and vapor-liquid cooling system for about 1,5 years with a flow rate of about $700 \cdot 10^3 \text{ m}^3/\text{day}$ and the temperature of wellhead about $30 \text{ }^\circ\text{C}$. The monitoring of the well during the annual cycle showed that the thawing halo around the production well extends beyond the cement ring less 0.3 m in the summer period. In the winter period the thawing halo is disappeared and permafrost around the production well remains intact. At the end of 2015, 296 gas-condensate production wells were built and operated at 33 cluster sites at the *Bovanenkovo field* (was commissioned in 2012).

The VIT were used in accordance with the project documentation [3]. To solve the problem of thawing ground around wells, the heat-insulated direction of the casing with vacuum thermal insulation is recommended to use in addition to VIT. In this case, the state of vacuum in the heat-insulated direction can be monitored and, if necessary, restored directly on the operating well [2].

A.1.2 The use of VIT to prevent paraffin formation in the tubing

The problem of the formation of paraffin in the tubing string is one of the main complications in the oil production. A lot of factors effect on the waxing rate and sediment thickness: the length and diameter of the tubing string, the geothermal gradient of the wellbore, the working pressure and the viscosity of oil. One of the main factors is the lowering of the temperature of the oil when it moves from the formation to the wellhead caused by heat loss through the tube walls with surrounding rocks. The process of paraffin formation can be significantly weakened or completely excluded with VIT. The experience of *Gazprom* shows that the descent of VIT to a depth of up to 1500 m ensures the temperature of the oil above the paraffin formation temperature.

The oil wells of the *Urengoi oil and gas condensate field* were tested in various ways to prevent and excluded asphaltene-resin-paraffin deposits (ARPD). Thermal, electromagnetic, various reagents and other methods were used to combat them. The prototypes of VIT (with size 114 × 73 mm) were used with a descent of the suspension in the range of 0–2000 m at the cluster site № 20135. As a result, the average gas-lift oil production rate was increased by 30%, heat treatment was practically excluded and scraper operations were reduced by four times. To preserve the temperature of the fluid leaving the well, it is proposed to install electric heating sections of VIT at the beginning of the discharge line. Conventional VITs with vacuum insulation without heating were used in the continuation of the pressure line and as a production string [2].

A.1.3 The use of VIT for pumping hot water or steam into the well during the production of highly viscous oil

When the formation temperature is equal or close to the temperature of the paraffin crystallization, the displacement of oil with cold water leads to cooling of the formation, paraffin precipitation and blockage of pores.

This injected cold water cools above and below underlying low permeable interlayers. In the best case, the cooling leads to an increase of the oil viscosity. In the worst case it leads to precipitation of dissolved paraffins into the solid phase and preservation of oil reserves in formations. These features of oil properties and a

strong layer-by-layer inhomogeneity of the formation can lead to a significant effect when a heat carrier is pumped into such a formation (superheated steam, hot water).

In this case, the heat carrier, penetrating in the well-permeable interlayer, heat upper and lower layers of the formation, which leads to decrease of the oil viscosity and contributes to more complete production of formations. It is recommended to equip the injection well by VIT to reduce losses during the injection of the coolant into the formation. The efficiency of this method tested by specialists of *Udmurtneft* which worked with scientists from a number of institutes to create fundamentally new resource and energy-saving technologies for making the previously unprofitable high-viscosity oil from the *Gremikhinsky field* profitable.

In the 1983 experimental work of the injection of the coolant (hot water with a wellhead temperature of 260 °C) into the formation was started. As a result, thermal impact technologies were created, patented and introduced into production: pulsed thermal effect (PTE), pulse thermal effect with pause (PTE (P)), thermal cyclic effect on the formation (TCEF) and its modifications [4].

These technologies were successfully introduced at the *Gremikhinsky field* 30 years ago: PTE - since 1986, PTE (P) - since 1988, TCEF - since 1988. The introduction of these technologies in other oil-producing areas with similar conditions and viscous oils can increase the production of developed fields [2].

A.1.4 The use of VIT to prevent hydrate formation

Many components of natural gas (methane, ethane, propane, isobutene, carbon dioxide, nitrogen, hydrogen sulfide) in combination with water form gas hydrates - solid crystalline substances that look like compressed snow and exist at high pressures and positive temperatures. During the gas production, hydrates can form on the inner surface of production string. This reduces the capacity of production strings. Many various of inhibitors (methyl alcohol, glycols, 30% of CaCl₂ solution) are introduced in the wells against the hydrate formation in gas fields. Gas flow temperature maintenance the higher than the hydrate temperature by using VIT as tubing strings is another effective way to prevent the hydrate formation. This reduces or eliminates the use of inhibitors [2].

A.1.5 The use of VIT in offshore wells

In recent years, the development of the shelf zone of the Arctic, the European North, and the Far East has been intensively conducted. During the operation of oil or gas offshore wells the occurrence of hydrate formation and paraffin deposits is strongly pronounced in the zone of the seabed, where the heated fluid contacts with the low temperature zone. In some cases, the significant heat losses and hydrate formation in the seabed zone complicates the commissioning of offshore wells. That is why the use of VIT is especially important.

The use of VIT in offshore wells is also necessary to maintain ecological balance. The temperature change of 2 degrees in the zone of oil and gas production from offshore wells can lead to irreversible environmental consequences. The large debit of deep-water wells significantly increases the temperature in the subsea part of the wellbore. Isolated voids which can be found in the casing annulus during the construction of the well contain air, which pressure increases during heating. This may squeeze the casing tube. To prevent these consequences the use of VIT in the underwater part of the tubing string is recommended. [2]

A.3 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.

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. [9]

W.G. 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 A.N. Krashennnikov developed the original design of VIT. Later, P.A. Barber and co-author recommended to use the thermal insulation of polyurethane foam with the density of $300\div 600\text{ kg/m}^3$, 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 S.N. Buzinov, V.S. 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. [10]

In 1996 V.S. 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 $2\div 5\text{ mm}$ [6].

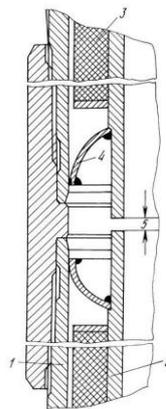


Figure A.1 – VIT; 1 – the main carrier tube, 2 – the sealed casing, 3 – the heat insulation, 4 – the quarter diaphragm [6]

In the late 70s. V.V. Bobrovsky, N.P. 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, D.M. 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 A.M. Popov recommended to use the heat insulation layers (for example, calcium silicate) in the joint of outer tubes connection.

In the early 80s. A.M. Popov, A.R. Alexandrov, G.I. 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 [11]. Later, A.R. Alexandrov, A.V. Orlov and others recommended to use basalt canvas and aluminum foil as thermal insulation for the VIT.

In the same year E.O. 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 J.H. Brady et al. recommended to seal the annular space between outer and inner tubes in the VIT. In the late 80s M.V. Artemyev and F.G. 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 B.A. 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. V.G. Kalbazov, V.A. 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 A.I. Stryukov, Z.S. 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 [4].

In the late 90s A.V. Fedoseev, A.R. Aleksandrov, V.A. Rachkovsky, G.M. Marchenko, E.A. Spiridovich worked on the design of the thermally insulated column. At the same time, V.I. Kudinov, E.I. Bogomolny, M.P. 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. Z.S. 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, R.R. Bagirov, S.D. Biryukov et al.

proposed to use the welded inner tube consisting of 3 parts in the thermal-insulated column (figure A.2).

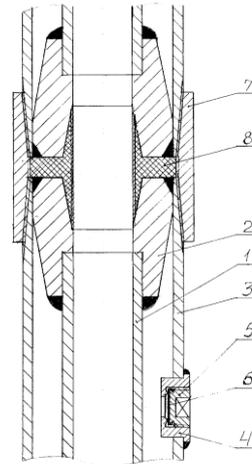


Figure A.2 - thermal-insulated column; 1 – the inner tube; 2 – the bellmouth; 3 – the outer tube; 4 – the seat; 5 – the valve; 6 – the copper pad; 7 – the clutch; 8 – the sealing sleeve [4]

According to I.F. Kalacheva, R.N. Rakhmanova, R.M. Shammassova the outer surface of VIT should be covered with corrosion-resistant composition and the inner surface with thermal-reflective composition. In 2007, R.R. Bagirov and M.P. 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.

I.V. 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 A.3) [12].

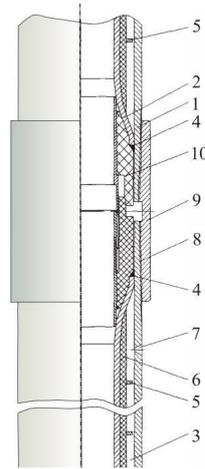


Figure A.3 – VIT; 1 – the outer tube; 2 – the inner tube; 3 – the annular space between outer and inner tubes; 4 – the vacuum tight joint; 5 – the centralizer; 6 – the multi-layered insulation; 7 – the valve hole; 8 – the thread; 9 – the clutch; 10 – the insulating insert [11]

N.D. 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) [12].

The authors of the patent V.P. Melikhov, V.G. 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 [13].

Приложение Б
(информационное)



“СОГЛАСОВАНО”

Главный инженер
ООО «НИФ Кубаньнефтемаш»

 Усенко И.П.

24.08.2018 г.

АКТ

внедрения в технологию изготовления теплоизолированной вакуумной трубы способа электронно-лучевой сварки (ЭЛС) трубы с пробкой, помещенной в откачное отверстие, в одном технологическом режиме откачка вакуума – сварка.

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Наиболее широко применяемыми методами добычи тяжелых нефтей и природных битумов являются паротепловые обработки призабойных зон скважин. Процесс паротепловой обработки скважины призабойной зоны заключается в периодической закачке перегретого до 350°C пара в добывающие скважины для разогрева призабойной зоны пласта и снижения в ней вязкости нефти с последующим извлечением разжиженного сырья. Важным условием эффективности паротепловых методов является сохранение высокой температуры пара в области его воздействия на пласт. Для этого используют теплоизолированные трубы, которые состоят из коаксиально расположенных труб с экранно-вакуумной изоляцией в межтрубном промежутке. Кроме закачки горячей воды или пара в скважину при добыче трудноизвлекаемой высоковязкой нефти теплоизолированные трубы с экранно-вакуумной изоляцией применяют для предотвращения оттаивания многолетнемерзлых пород вокруг ствола скважины, предотвращения парафинообразования в лифтовой колонне и гидратообразования в морских скважинах.

Условием долговременной работы теплоизолированной вакуумной трубы является не только откачка межтрубного промежутка до высоких значений вакуума, но и сохранения в межтрубном промежутке давления, не превышающем 10^{-4} мм.рт.ст. в течение всего времени работы теплоизолированной трубы. Заключительной и самой ответственной операцией в процессе вакуумирования теплоизолированной трубы является герметизация откачного отверстия. На производстве теплоизолированных труб

данная задача решается разными способами. Например, используют разборный узел герметизации откачного отверстия, позволяющий проводить многократную откачку межтрубного промежутка, герметичность которого обеспечивается за счет медной прокладки. Также используют запрессовку стальной пробки или стального шарика с последующей заваркой пробки или приваркой крышечки поверх шарика. Но в обоих случаях герметичность пробки часто нарушается за счет деформации труб в скважине, собранных в колонну при паротепловом воздействии или деформации металла в процессе приварки пробки или крышечки, приводящее к нарушению герметичности в месте уплотнения откачного отверстия и нарушения вакуумплотного соединения. Это приводит к браку (10 %) при производстве и нестабильности теплоизолирующих характеристик труб.

Для решения задачи вакуумплотной герметизации откачного отверстия на заключительной стадии процесса откачки перспективным является использование электронного луча для вакуумной сварки трубы с пробкой, помещаемой в откачное отверстие. Причем, деформация трубы в процессе эксплуатации или в процессе приварки защитной крышки поверх пробки никоим образом не будут влиять на герметичность сварного соединения пробки с трубой, и в межтрубном промежутке будет сохраняться вакуум, обеспечивающий высокие теплоизолирующие свойства.

ОСОБЕННОСТИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ И СВАРКИ

Труба для производства теплоизолированных лифтовых труб длиной 9,5 метров, диаметром 114 мм и толщиной стенки 7 мм изготавливается из стали 32Г2. Пробка диаметром 20 мм и толщиной 5 мм изготавливалась из стали 20. Сварка проводилась в ООО «НПФ Кубаньнефтемаш» на электронно-лучевом оборудовании фирмы ООО «НПК ТЭТа» (г. Томск). Сварка велась с разверткой луча по кругу с частотой развертки 0,2 Гц. Линейная скорость перемещения луча (скорость сварки) составила 12,5 мм/с, $U_{\text{уск}} = 45$ кВ, $I_{\text{луча}} = (20...45)$ мА. Для приварки крышечки с целью дополнительной защиты пробки в процессе эксплуатации труб использовалась аргодуговая сварка (АДС). В качестве присадочного материала использовалась проволока марки Св-08. 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). В ходе термического цикла приварки крышечки с целью дополнительной защиты пробки в процессе эксплуатации труб, происходит высокий

отпуск ранее сформированного сварного соединения. Это позволило получить в корне шва дисперсную феррито-перлитную структуру с уровнем твердости, не превышающим 2200 МПа.

РЕЗУЛЬТАТЫ

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. Данный способ сварки позволил полностью исключить брак (10 %) связанный с нарушением герметичности в месте уплотнения откачного отверстия и нарушения вакуумплотного соединения.

ВЫВОДЫ

На основе полученных результатов работы способ 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, успешно внедрен в технологию изготовления теплоизолированных вакуумных труб.

от
ООО «НПФ Кубаньнефтемаш»:

Инженер технолог
ООО «НПФ Кубаньнефтемаш»

 Грановский А.В.

Заместитель директора по новым
технологиям, ООО «НПФ
Кубаньнефтемаш»
кандидат технических наук

 Дураков В.Г.

от
НИ ТПУ:

Профессор НИ ТПУ,
доктор технических наук

 Гнюсов С.Ф.

Магистрант НИ ТПУ

 Федин Е.А.

Список используемых источников

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

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

4. 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.

5. Патент РФ №2129202 E21B17/00, F16L59/065. «Теплоизолированная колонна» (термоизолированная насосно-компрессорная труба) / В.И. Кудинов, Е.И. Богомольный, М.П. Завьялов, Г.Р. Багиров (РФ). – Оpubл. 20.04.1999, Бюл. №11.

6. Патент РФ №2473005, E21B17/00, F16L59/065. Труба термоизолированная насосно-компрессорная (ТТНК). / С.А. Шакаров (РФ). – Оpubл. 20.01.2013, Бюл. №2.

7. Патент РФ №2352750, E21B17/00, F16L59/065. Теплоизолированная колонна / В.С. Смирнов, Б.А. Кумейко, Н.В. Серегина (РФ). – Оpubл. 20.04.2009, Бюл. №11.

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

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

10. 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.

11. 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.

12. 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.

13. 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.

14. Пат. 2232864 РФ, E21B17/00. Теплоизолированная колонна / В.П. Мелихов, В.Г. Прокопенко, П.З. Данюк и др. (РФ). – № 2002129642/03; Заявлено 04.11.2002; Оpubл. 20.07.2004, Бюл. №20.

15. Гньюсов С.Ф. Электронный луч в формировании неравновесных структур: монография/ С.Ф. Гньюсов, В.Г. Дураков. Томский политехнический университет. - Томск: Издательство ТПУ, 2012.-115с.

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

17. 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.

18. Абрютин М.С., Анализ финансово-экономической деятельности предприятия учеб. – практ. Пособие. – М.: Дело и сервис 2000. – 256 с.

19. Анализ финансовой отчетности учеб. пособие для вузов под ред. О.В. Ефимовой. – М.: Омега-Л, 2006. – 449 с.
20. Арутюнов Ю.А., Финансовый менеджмент: теория и практика М.: Проспект 2008. – 1024 с.
21. Бланк И.А. Управление финансовой безопасностью предприятия. – Киев: Эльга; Ника-Центр, 2006. – 776 с.
22. Большаков С.В., Финансы предприятий: теория и практика учебник для вузов. – М.: Кн. Мир 2006. – 617 с.
23. Бригхем Ю., Финансовый менеджмент полный курс: в 2 т. Т. 1., пер. с англ. Под ред. В.В. Ковалева. – СПб.: Эконом. шк. – 2000. -497 с.
24. Гусева И.Б. Управление затратами в системе контроллинга. // Финансы. – 2005. - №12. – с.69.
25. Ионова А.Ф. Анализ финансово-хозяйственной деятельности организации. – М.: Бух. Учет, 2005. – 310 с.
26. Карасева И.М., Финансовый менеджмент учеб. пособие. – М.: Омега-Л, 2006. – 335 с.
27. Ковалев В.В., Финансовый менеджмент: теория и практика. – М.: Проспект, 2008. – 1024 с.
28. Негашев Е.В., Анализ финансов предприятия учеб. пособие. – М.: Высш. шк.2001 – 192 с.
29. Основы экономики и управления учеб. пособие для вузов под ред. Н. Кожевникова. – М.: Академия, 2003. – 272 с.
30. Остапенко В.В., Финансы предприятия учеб. пособие. – М.: Омега-Л, 2007. – 301 с.
31. Пястолов С.М. Экономический анализ деятельности предприятий учеб. пособие для вузов. – М.: Академ. проект, 2004. – 576 с.
32. Раицкий К.А. Экономика предприятия: учебник для вузов. – М.: Дашков и К, 2002. – 1012 с.
33. Савицкая Г.В., Анализ хозяйственной деятельности предприятия учебник. – М.: Инфра-М 2004. – 424 с.

34. Сергеев И.В. Экономика предприятия: учеб. пособие для вузов. – М.: Финансы и статистика, 2003. – 304 с.

35. Межгосударственный стандарт ГОСТ 12.0.003-2015 "Система стандартов по безопасности труда. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация" (введен в действие приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 9 июня 2016 г. N 602-ст).

36. Государственный стандарт СССР ГОСТ 12.1.005-88 "Система стандартов безопасности труда. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны" (утв. постановлением Госстандарта СССР от 29 сентября 1988 г. N 3388) (с изменениями и дополнениями).

37. Государственный стандарт СССР ГОСТ 22269-76 "Система "человек-машина". Рабочее место оператора. Взаимное расположение элементов рабочего места. Общие эргономические требования" (введен в действие постановлением Государственного комитета стандартов Совета Министров СССР от 22 декабря 1976 г. N 2798).

38. Национальный стандарт РФ ГОСТ Р 12.1.019-2009 "Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты" (утв. приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 10 декабря 2009 г. N 681-ст).

39. Национальный стандарт РФ ГОСТ Р 12.1.009-2009 "Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Термины и определения" (утв. приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 10 декабря 2009 г. N 682-ст).

40. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 "Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы" (зарегистрированы в Минюсте России 10.06.2003, регистрационный N 4673.).

41. Межгосударственный стандарт ГОСТ 12.1.003-2014 "Система стандартов безопасности труда. Шум. Общие требования безопасности" (введен в действие приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 29 декабря 2014 г. N 2146-ст).

42. Безопасность жизнедеятельности. Безопасность технологических процессов и производств: Учеб. пособие для вузов / П.П. Кукин, В.Л. Лапин, Н. Л. Пономарев и др. – 3-е изд., испр. – М.: Высш. шк., 2004. – 319 с.

43. Охрана окружающей среды: Учеб для техн. вузов / С.В. Белов, Ф.А. Барбинов, А.Ф. Козьяков и др.; Под ред. С.В. Булова, 2-е изд., испр. и доп. – М.: Высш. шк., 1991. – 319 с.

44. Постановление Главного государственного санитарного врача РФ от 21 июня 2016 г. N 81 «Об утверждении СанПиН 2.2.4.3359-16 «Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах».

45. Постановление Правительства РФ от 3 сентября 2010 г. N 681 "Об утверждении Правил обращения с отходами производства и потребления в части осветительных устройств, электрических ламп, ненадлежащие сбор, накопление, использование, обезвреживание, транспортирование и размещение которых может повлечь причинение вреда жизни, здоровью граждан, вреда животным, растениям и окружающей среде".

46. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 27.12.2018).

47. ГОСТ 12.1.010-76 ССБТ. Взрывобезопасность. Общие требования.

48. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 27.12.2018).

49. С. Сорокин. Марочник сталей и сплавов. М.: Машиностроение, 1978.